

Petra Heikkilä

# UUSTUOTEPROJEKTIN YLÖSAJON TUKEMINEN

Teknisten tieteiden tiedekunta  
Diplomityö  
Helmikuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Petra Heikkilä: Uustuoteprojektin ylösajon tukeminen  
Diplomityö, 62 sivua, 26 liitesivua  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Helmikuu 2020  
Tarkastajat: professori Minna Lanz ja yliopistonlehtori Timo Lehtonen

---

Tässä diplomityössä perehdytään Sandvik Mining and Construction Oy:n pintaporolaitteiden uustuoteprojektien ylösajoprosessin aikaisiin haasteisiin. Juuri päättyneessä uustuoteprojektissa oli havaittu, että projektin päätyttyä uuden tuotteen kokoonpanotunnit eivät olleet kehittyneet suunnitellusti. Ylimeneviä kokoonpanotunteja oli syntynyt suunniteltua enemmän. Diplomityön päätavoitteena olikin osoittaa toimia, joiden avulla voitaisiin jatkossa ennaltaehkäistä 50 prosenttia ensimmäisen vuoden aikana syntyvistä ylimenevistä kokoonpanotunneista. Tutkimuksen kohteena käytettiin juuri päättynyttä uustuoteprojektia. Ylimenevien kokoonpanotuntien aiheuttajia tutkittiin kahdella eri menetelmällä: juurisyyanalyysi ja prosessimallin luominen. Diplomityössä esitellään myös kirjallisuuden löydöksiä ylösajoprosessin aikaisten ongelmien aiheuttajista. Teoriaosuus koostuu Lean-tuotekehityksestä, projektin tuotteistamisesta ja kirjallisuuden esittämistä ylösajoprosessin haasteista.

Diplomityössä tutkittiin uuden tuotteen prototyypin ja kahden nollasarjalaisen kokoonpanon aikana kirjattuja muutostöitä ja selvitettiin kyseisten muutostöiden juurisyyt Leanin 5 Miksi ja kalanruotokaavion avulla. Lisäksi tutkimuksessa luotiin prosessimalli tuotannonkoordinoijalle ja sen avulla voitiin osoittaa kohdeprojektissa tehtyjen ja tekemättömien työvaiheiden osuudet. Tekemättömistä töistä pystyttiin myös johtamaan suuntaa antavia arvioita niiden merkittävyydestä ylimenevien kokoonpanotuntien kehittymiseen.

Juurisyyanalyysin osoitti, että nykyinen muutostyöprosessi sisältää paljon hukkaa. Muutostyöpyyntöjä on määrällisesti liikaa kahdesta syystä: jätetään tietoisesti asioita laitteella katsottavaksi ja annetaan palautetta vääristä asioista väärään aikaan. Lisäksi juurisyyanalyysi osoitti, että paljon muutostöitä aiheutuu puhtaasti huolimattomuudesta. Tuotantoon viedään tuotetta, joka ei ole valmis sarjatuotantoprosessiin.

Verrattaessa luotua prosessimallia kohdeprojektiin tehtiin kolme merkittävää havaintoa. Merkittävin havainto oli, että kohdeprojektin alkupuolella oli paljon tekemättömiä työtehtäviä. Näillä uskotaan olleen suuri vaikutus uuden tuotteen tavoitetuntien kasvuun sekä ylimenevien kokoonpanotuntien hitaaseen laskuun sarjatuotannossa. Yksi merkittävin tekemätön työvaihe oli valmistuspaikan päättäminen liian myöhään. Toinen merkittävä oli oppimisen leviämisen epäonnistuminen eli tuotantoprosessin aikainen oppiminen ei levinnyt protoasentajilta sarjatuotannon asentajille. Lisäksi sarjatuotantoon tuotiin uusia kokemattomia asentajia liian nopeasti. Uutta tuotetta vietiin tuotantoon, joka ei ollut valmis vastaanottamaan sitä.

Avainsanat: Uustuoteprojekti, ylösajo, Lean-tuotekehitys, tuotteistaminen, oppimiskäyrä, juurisyyanalyysi

# ABSTRACT

Petra Heikkilä: Supporting NPD-projects ramp-up phase  
Master of Science Thesis, 62 pages, 26 Appendix pages  
Tampere University  
Master's degree program in Mechanical Engineering  
February 2020  
Examiner: professor Minna Lanz and university lecturer Timo Lehtonen

---

This thesis examines Sandvik Mining and Construction Oy's new product development's difficulties during ramp-up phase. Recently ended NPD-project had shown that assembly hours were not developing as planned. There were too many extra assembly hours. Thesis' main goal was to show actions that would reduce extra assembly hours with 50 percent during first year of serial production. Research was based on recently ended NPD-project. Causers of the extra assembly hours were searched by using two different research methods: root cause analysis and process model creation. Thesis introduces findings of the literature review about causers of ramp-up process' problems. Theoretical part of the thesis consists of Lean product development, project's productization and introducing ramp-up process' challenges found from literature.

Thesis examines new product's prototype and two pre-series production feedbacks and their root causes by using Lean's 5 Whys and cause and effect tool. Process model for production coordinator was created and it was used to evaluate which tasks were done and undone. After that, information of undone tasks was used to calculate their effect on extra assembly hours.

Root cause analysis showed that current Engineering Change Notice process consists a lot of waste. ECN-process consists too many requests because of two reasons. Firstly, too many issues are left to be decided at an assembly phase and secondly feedback is given at wrong time and about wrong things. Also, the root cause analysis showed that many ECNs are caused because of carelessness. These things lead to situation where unfinished product is let to serial production.

When compared created process model to the case project, three significance observations were made. The most significant was that there were a lot of unfinished tasks in the beginning of case project. It's believed that those unfinished tasks have caused new products target hours to rise and slow the decrease of extra assembly hours. The second observation was that the most important unfinished task was a late decision of assembly place in serial production which effected negatively to the assembly hours' progress. Third observation was an unsuccessful diffusion of knowledge. Knowledge from prototype assemblers was lost during transfer to pre-series and also new assemblers were brought to serial production with too quick pace. This means that new product was brought to production that wasn't ready to receive it.

Keywords: New Product Development, Ramp-up, Lean Product Development, Productization, Learning curve, Root cause analysis

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Sandvik Mining and Construction Oy:tä tarjoamastaan mahdollisuudesta tehdä diplomityö näinkin mielenkiintoisesta ja haastavasta aiheesta. Diplomityötä tehdessäni olen saanut tukea ja apua lukuisilta eri henkilöiltä Sandvikilla ja haluankin kiittää teitä kaikkia. Erityisesti haluan kiittää ohjaajaani Juha Ketomäkeä, joka on umpikujien kohdalla osannut ohjata minua uudelle tielle kohti diplomityön tavoitetta.

Tie on ollut pitkä ja perheeltä saamani tuki on ollut korvaamatonta. Haluankin kiittää kihlattuani Juha-Pekkaa hänen tuestaan läpi koko prosessin. Asiat jäsentyivät ja ongelmat ratkesivat, kun kotona sai pohtia aihetta saman alan ihmisen kanssa. Lopuksi haluan kiittää isääni, joka alunperin rohkaisi hakemaan teknilliseen yliopistoon ja auttoi rakentamaan urapolkuni alkuun.

Tampereella, 2.2.2020

Petra Heikkilä

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Tavoitteet ja rajaukset .....	9
1.3 Työn toteutus .....	10
1.4 Työn rakenne .....	11
2. TEORIAOSUUS .....	13
2.1 Lean-tuotekehitys .....	13
2.1.1 Tuotekehitysprojektin vaihtelu ja läpimenoaika .....	15
2.1.2 Virtauksen kiihdyttäminen .....	16
2.1.3 Porttimalli vs. virtausmalli .....	19
2.1.4 Juurisyyanalyysi .....	20
2.2 Projektin tuotteistaminen .....	22
2.2.1 Informaatiovirta .....	22
2.2.2 Sisäinen ja ulkoinen tuotteistaminen .....	24
2.3 Ylösajoprosessin haasteet .....	26
2.3.1 Oppiminen ylösajoprosessissa .....	27
2.3.2 Ylösajoprosessin vaihtelun tunnistaminen .....	30
2.3.3 Muutostyön hallitseminen ylösajoprosessissa .....	33
2.3.4 Muutostöiden ennakointi .....	34
3. PROSESSIMALLIN KEHITTÄMINEN JA VERTAAMINEN KOHDEPROJEKTIIN .....	36
3.1 Prosessimallin kehittäminen .....	36
3.2 Prosessimallin toteutuminen kohdeprojektissa .....	37
3.2.1 Valmistuspaikka ei ole ollut tiedossa .....	38
3.2.2 Projektin alussa paljon tekemättömiä tehtäviä .....	40
3.2.3 Osaamisen leviäminen epäonnistunut .....	41
4. JUURISYYANALYYSI MUUTOSTÖISTÄ .....	43
4.1 Hypoteesit juurisyyanalyysin tuloksista .....	43
4.2 Juurisyyanalyysin toteutus .....	44
4.3 Kalanruotokaaviot .....	45
4.3.1 Sovittu tiedonanto .....	46
4.3.2 Suunnitteluvirhe .....	48
4.3.3 Mieliä .....	50
4.3.4 Alihankkijan valmistusvirhe .....	51
4.3.5 Virheelliset lähtöarvot .....	51
4.3.6 Asennusvirhe, logistiikan virhe, hankinnan virhe ja rakennekäsittelyn virhe .....	53
5. TULOKSET .....	54
5.1 Prosessimallin tulokset .....	54
5.2 Juurisyyanalyysin tulokset .....	56
6. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	58
6.1 Ylösajon näkökulmasta projektin merkityksellisimmät vaiheet .....	58

6.2	Juurisyysanalyysin hypoteesit.....	59
6.3	Toimenpide-ehdotukset.....	60
LÄHTEET .....		63
LIITE A:.....		66
LIITE B:.....		69
LIITE C:.....		78
LIITE D:.....		81

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Diplomityön tutkimuskysymykset, menetelmät ja tulokset.</i> .....	10
<b>Kuva 2.</b>	<i>Diplomityön rakenne</i> .....	12
<b>Kuva 3.</b>	<i>Vaihtelun ja kapasiteetin vaikutus tuotekehitysprojektin läpimenoaikaan, perustuu lähteeseen (Morgan &amp; Liker 2006, s. 79) ....</i>	15
<b>Kuva 4.</b>	<i>Syy-seuraus -kaavio, perustuu lähteeseen (Andersen &amp; Fagerhaug 2006).</i> .....	21
<b>Kuva 5.</b>	<i>Tuotteistamisen sijoittuminen uustuotekehitysprojektiin, perustuu lähteeseen (Suominen et al. 2009, s. 13) .....</i>	24
<b>Kuva 6.</b>	<i>Sisäisen ja ulkoisen tuotteistamisen ulottuvuudet, perustuu lähteeseen (Simula et al. 2008, s. 6) .....</i>	25
<b>Kuva 7.</b>	<i>Ylösajoprosessi päättyy, kun tuotanto on saavuttanut täyden volyyminsä, perustuu lähteeseen (Li et al. 2014).....</i>	27
<b>Kuva 8.</b>	<i>Oppimiskäyrän toteutumisen vaihtelu eri kokoonpanolinjojen välillä saman tuotteen osalta (Argote &amp; Eppe, 1990) .....</i>	30
<b>Kuva 9.</b>	<i>Volvo S70-mallin tuotannon kapasiteetin ja laatutason kehittyminen ylösajoprosessin alussa (Almgren 1999) .....</i>	31
<b>Kuva 10.</b>	<i>Ylimenevien kokoonpanotuntien kehitys ylösajoprosessin aikana (Almgren 1999) .....</i>	32
<b>Kuva 11.</b>	<i>Kokoonpanotuntien kehitys ensimmäisen vuoden aikana. ....</i>	38
<b>Kuva 12.</b>	<i>Valmistuspaikkaa vaihdon vaikutukset sekä tapaukset miten tunnit olisivat voineet kehittyä ilman tuotannon siirtoa.....</i>	39
<b>Kuva 13.</b>	<i>Arvio tuntien kehittymisestä, jos prosessimallin tehtävät olisi hoidettu ajallaan.....</i>	40
<b>Kuva 14.</b>	<i>Asentajien keskimääräinen kokemus laitteesta ja kokoonpannun laitteen tuntitoteuma.....</i>	41
<b>Kuva 15.</b>	<i>Sovitun tiedonannon juurisyyt esitettynä kalanruotokaaviolla .....</i>	46
<b>Kuva 16.</b>	<i>Suunnitteluvirheiden juurisyyt esitettynä kalanruotokaaviolla .....</i>	49
<b>Kuva 17.</b>	<i>Mielipiteiden juurisyyt esitettynä kalanruotokaaviolla.....</i>	50
<b>Kuva 18.</b>	<i>Virheellisten lähtöarvojen juurisyyt kalanruotokaaviossa .....</i>	52
<b>Kuva 19.</b>	<i>Toimenpide-ehdotukset tutkimuksen perusteella.....</i>	61

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

LM	Lean Manufacturing
TPDS	Toyota Product Development System
Lean	Toimintastrategia, joka korostaa virtaus- eikä resurssitehokkuutta



# 1. JOHDANTO

Nykypäivän tuotekehitys kohtaa jatkuvasti uusia haasteita; markkina-alue on kasvanut maailmanlaajuisesti, markkinatilanteet muuttuvat nopeasti ja ovat vaikeammin ennustettavissa sekä huomattavasti monisyisempiä kuin ennen. Onnistuminen tuotekehityksessä on tullut nopeasti yhä tärkeämmäksi strategiseksi erilaistumiseksi. Tie menestykseen ei kuitenkaan ole yksiselitteinen ja tarjolla on lukuisia erilaisia tuotekehitysstrategioita, joista valita. Uustuoteprojektilla tarkoitetaan tuotekehitysprojektia, jossa tuodaan täysin uusi tuote markkinoille. Tuotekehitysprojekti sisältää lukuisia vaiheita, joiden aikana on tärkeää tehdä yhteistyötä organisaation kaikkien toimijoiden kanssa aina markkinoinnista tuotantoon ja esimerkiksi hankintaan. Jotta tuotekehitysprojekti onnistuisi, tulee organisaatioiden välisen yhteistyön olla sujuvaa ja tarvittavan informaation vaihtua oikeaan aikaan. (Cooper, 2019)

Tässä diplomityössä keskitytään tuotekehitysprojektin uuden tuotteen ylösajon aikaisiin haasteisiin. Aiheuttajat näille haasteille löytyvät niin tuotekehitysprojektin suunnittelun ajalta kuin itse ylösajoprosessista. Tuotekehitysprojektin ylösajon kannalta kriittinen kohta on, kun uusi tuote siirtyy suunnittelulta tuotantoon. Projektitiimi, jolla on suurin tietämys uudesta tuotteesta, siirtyy projektista pois ja uudet henkilöt astuvat tilalle. Tämä on kriittinen hetki projektin kannalta, sillä osa tietämyksestä väistämättä jää suunnittelulle. Miten edesauttaa tiedon siirtymistä niin, että uuden tuotteen ylösajolla olisi parhaat mahdollisuudet onnistua mahdollisimman tehokkaasti?

Ylösajoprosessin aikana saattaa esiintyä odottamattomia häiriöitä, jotka aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia sekä tuotannon kapasiteetin laskua. Häiriöt voivat olla seurausta tietämyksen puutteesta uudesta laitteesta, tuotantoprosessin toimimattomuudesta, oikeanlaisten työvälineiden puutteesta sekä uuden tuotteen muutostöistä eli virheellisestä tai muuten huonoksi koetusta osasta tehdään suunnittelulle muutospyyntö. Häiriöiden juurisyitä ja syy-seuraus-suhteita ei monesti ymmärretä kunnolla ja osaa ongelmien aiheuttajista ei edes ole osattu tunnistaa. Seuraavissa alaluvuissa esittelemme tarkemmin diplomityön taustoja, aiheen rajausta, työn tavoitteet, käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä lopuksi työn rakennetta.

## 1.1 Työn tausta

Diplomityö toteutettiin Sandvik Mining and Construction Oy:lle Tampereen toimipisteellä. Sandvik on teollisuuskonserni, jonka liiketoimintaan kuuluu kaivos- ja urakointiteollisuus,

metallintyöstö sekä materiaaliteknologia. Tampereen toimipiste on osa Sandvik Mining and Rock Technology -konsernia, joka on maailman johtava kaivos- ja urakointiteollisuuden toimija. Sandvik Mining and Rock Technologyn tarjontaan kuuluvat laitteet ja jälkimarkkinointipalvelut murskaukseen, seulontaan, rikotukseen, louhintaan, kalliorakentamiseen, lastaukseen ja kuljettamiseen. (Rocktechnology.Sandvik – Tietoja Meistä)

Tampereen toimipisteellä suunnitellaan ja valmistetaan laitteita niin maanpäälliseen kuin maanalaiseen poraukseen. Diplomityö toteutettiin maanpäällisten porauslaitteiden uustuoteprojektien suunnittelulle. Tarkastelussa oli uustuoteprojekti, jossa oli suunniteltu kaikkein haastavimpiin työympäristöihin ja suuriin reikäkokoihin tarkoitettu DTH (Down-the-Hole) -porauslaite. Tampereen toimipisteellä on useampaan kertaan havaittu uustuoteprojektien kohdalla, että suunniteltujen kokoonpanotuntien määrät ylittyvät ylösajoprosessin alussa. Tuotannon ylösajon aikana havaitaan ongelmia, joiden takia tuotanto hidastuu tai keskeytyy kokonaan. Kokoonpanotuntien kehitys ei ole toivottua ja tuotannossa uudesta laitteesta syntyy edelleen muutospyyntöjä suunnittelulle. Yllä mainitun projektin myötä oli noussut tarve ymmärtää paremmin, mitkä ovat uustuoteprojektien kriittiset kohdat, joihin tulisi jatkossa panostaa enemmän.

## 1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Diplomityön aihepiiriin lähdettiin tutustumaan haastatteluiden kautta, joiden avulla oli tarkoitus kartoittaa missä ylösajoprosessin haasteet sijaitsevat. Työtä varten haastateltiin yhteensä 14 uustuoteprojekteihin liittyvää avainhenkilöä eri osastoilta. Haastatteluiden aikana nousi useitakin osa-alueita, joihin kaikkiin ei diplomityön resurssit riittäisi. Yksi merkittävimmistä ongelmista liittyy muutostöihin ja siihen, ettei muutostöiden palautteista tehtyjä muutoksia ehditä käsitellä valmiiksi ennen sarjatuotannon aloitusta. Tämä johtaa merkittäviin viivästymisiin tuotannon alussa ja alhaiseen kapasiteettiin. Ensimmäiseksi aiherajaukseksi valittiinkin muutostöiden juurisyiden tutkiminen.

Toinen aihe rajausta liittyy nykyisen prosessimallin puutteiden löytämiseen. Kohdeprojektin aikana oli havaittavissa merkittäviä tekijöitä, jotka ehkäisemällä olisi saavutettu säästöjä sekä kustannuksissa, että aikataulussa. Tästä johtuen uustuoteprojektien tuotannonkoordinoijalle haluttiin luoda oma prosessimalli, johon kirjattaisiin tarvittavat työvaiheet tarkemmin. Diplomityön päätavoitteena on esittää toimia, joiden avulla saataisiin uustuoteprojektien ylimenevistä kokoonpanotunneista 50 prosenttia pois. Tämä tarkoittaisi sitä, että ylösajoprosessille tulisi esittää merkittäviä kehitysparannuksia, jotta ylimenevistä kokoonpanotunneista voitaisiin karsia 50

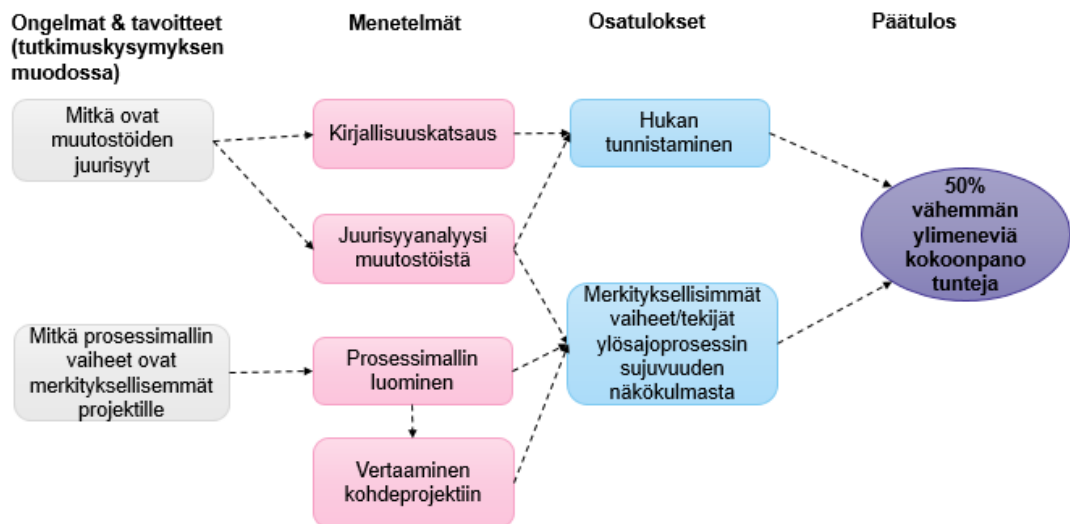
prosenttia. Päättävöitteen saavuttamiseksi luotiin kaksi tutkimuskysymystä, joiden avulla pyrittiin vastaamaan edellä esitettyihin ongelmiin. Tutkimuksen tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä ovat muutostöiden juurisyyt?
2. Mitkä prosessimallin vaiheet ovat merkityksellisimmät projektille?

Luvussa 1.3 kerrotaan tarkemmin tutkimusmenetelmistä ja miten niiden avulla uskotaan löydetävän ratkaisu tutkimuskysymyksiin.

### 1.3 Työn toteutus

Ylimenevät kokoonpanotunnit ovat seurausta prosessin häiriöistä, jotka aiheutuvat kapasiteetin laskusta ja riittämättömästä laadusta ylösajoprosessin aikana. Ylimenevien kokoonpanotuntien kulu on myös mittari prosessin suorituskvyydestä suoriutua siltä vaaditusta laadusta ja uuden tuotteen kappalemääristä (Terwiesch & Bohn 2001). Diplomityön päättävöitteenä on osoittaa toimenpiteitä, joilla olisi säästetty 50 prosenttia kohdeprojektin ylimenneistä kokoonpanotunneista. Päättävöitettä haetaan kahden osatuloksen avulla, joihin on päästy kolmella eri menetelmällä. Kuvassa 1 on esitettyä diplomityön tutkimuskysymykset, -menetelmät, osatulokset ja päätulos.



**Kuva 1.** Diplomityön tutkimuskysymykset, menetelmät ja tulokset.

Ylimenevien kokoonpanotuntien syntymiselle on olemassa lukuisia syitä, joista kaikkia ei varmasti osattu tunnistaa esihaastattelujen aikana. Haastattelujen aikana tunnistettujen ongelmakohtien avulla kuitenkin pyritään ratkaisemaan 50 prosenttia ylimenevistä kokoonpanotunneista. Päättävöitteen saavuttamiseen valikoitui kolme erilaista menetelmää: kirjallisuuskatsaus, juurisyyanalyysi ja prosessimallin luominen sekä vertaaminen kohdeprojektiin. Kirjallisuuskatsauksen avulla etsitään teoriaa

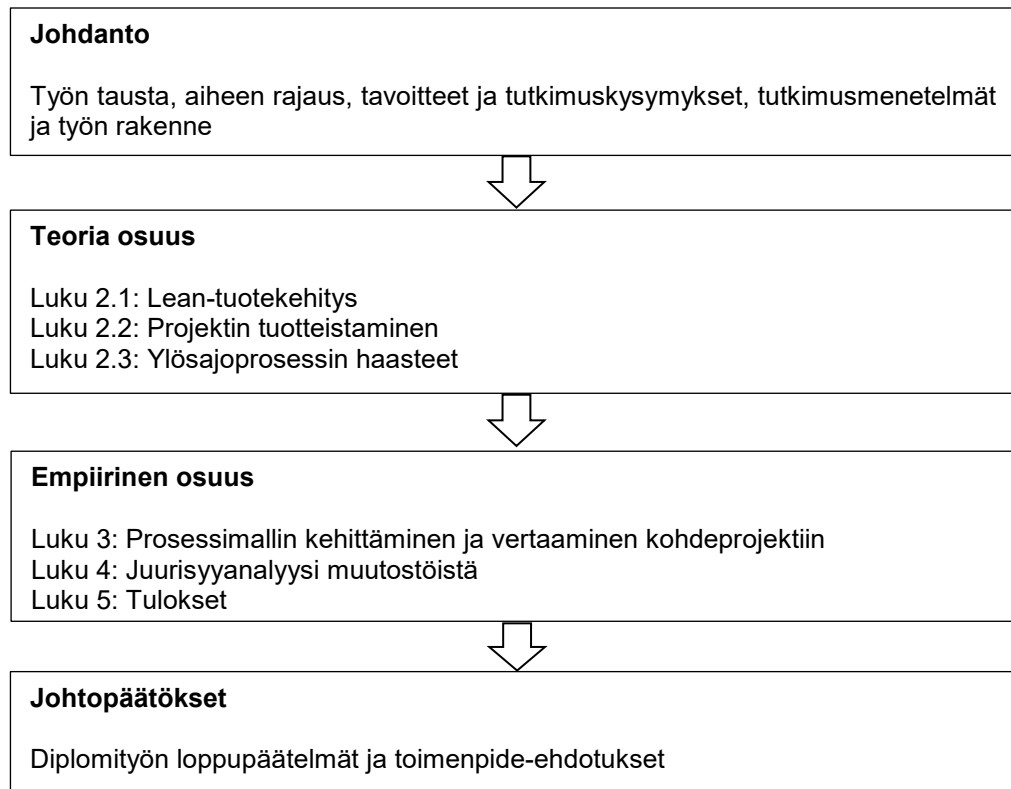
tukemaan onnistunutta ylösajoprosessia, ja sen avulla pyritään tunnistamaan, missä prosessin vaiheessa hukkaa syntyy. Katsauksen avulla tutustutaan aihepiireihin, jotka useimmiten ovat ylösajoprosessin aikaisten haasteiden takana.

Menetelmistä merkittävin on juurisyysanalyysi kohdeprojektin muutostöistä. Ylösajoprosessin aikaiset muutostyöt ovat merkittävä ylimenevien kokoonpanotuntien aiheuttaja. Onkin tärkeää ymmärtää muutostöiden aiheuttajat, jotta niihin voidaan puuttua. Juurisyysanalyysin avulla saadaan osatuloksia hukan aiheuttajista koko uustuoteprojektissa sekä vaiheista, jotka ovat kriittisiä ylösajoprosessin onnistumiselle mahdollisimman tehokkaasti.

Kolmantena menetelmänä on pureutua tarkemmin työvaiheisiin, jotka ovat tärkeitä ylösajoprosessin onnistumisen kannalta. Tätä varten on koottu Tampereen toimipisteen parhaan tietämyksen pohjalta tuotannonkoordinoijalle oma prosessimalli uustuoteprojektin aikaisista työvaiheista. Kyseistä mallia on sitten verrattu kohdeprojektiin ja siten saatu selville vaiheita, jossa kohdeprojektissa on toimittu puutteellisesti. Kyseisten vaiheiden kustannukset on arvioitu ja siten saatu priorisoitua ne tärkeimmät vaiheet projektin kannalta. Yhdessä juurisyysanalyysin tuloksien kanssa tämä menetelmä tarjoaa osatuloksen merkityksellisimmistä vaiheista onnistuneelle ylösajoprosessille. Sillä mitä ongelmattomammin tuotannon ylösajo saadaan toteutettua, sitä todennäköisempää on, että ylimenevät kokoonpanotunnit ja monet muut ongelmat saadaan puolitettua.

## **1.4 Työn rakenne**

Työ koostuu neljästä osiosta, jotka ovat johdanto, teoria, empiirinen eli itse kokeellinen osio ja loppupäätelmät. Kuvassa 2 on esitettyä työn rakenne siinä järjestyksessä kuin eri osiot esiintyvät tässä diplomityössä.



**Kuva 2.** *Diplomityön rakenne*

Luku kaksi koostuu teoriaosuudesta, joka on jaettu kolmeen eri osioon. Teoriaosuus koostuu Lean-tuotekehityksestä, projektin tuotteistamisesta ja kirjallisuuden esittämistä ylösajoprosessin haasteista. Luvut kolme ja neljä ovat diplomityön empiiristä osiota. Luvussa kolme esitellään luotua prosessimallia sekä vertaillaan sitä kohdeprojektiin. Tekemättömistä töistä luodaan laskennallisia esimerkkejä, joilla todennetaan töiden merkittävyyttä onnistuneelle ylösajolle. Luku neljä esittelee juurisyyanalyysin toteutusta ja yksityiskohtaisia tuloksia. Luku viisi kokoaa empiiristen osien ja kirjallisuuskatsauksen tulokset yhteen arvioiden samalla tulosten luotettavuutta. Luvussa kuusi esitetään diplomityön johtopäätökset sekä yritykselle suositellut toimenpide-ehdotukset.

## 2. TEORIAOSUUS

Teoriaosuuden tavoitteena on tukea diplomityön empiiristä osiota ja esittää kirjallisuuden yleisimmin esitettyjä haasteita uuden tuotteen ylösajoprosessin aikana. Koska ylösajoprosessin haasteet voivat johtua hyvinkin monista eri asioista, on teoriaosuuteen pyritty nostamaan niitä aihealueita, jotka on tunnistettu kohdeyrityksessä haasteellisiksi. Siten teoriaosuus pyrkii vastaamaan kohdeyrityksen tarpeisiin.

Teoriaosuus koostuu kolmesta eri kokonaisuudesta. Luvussa 2.1 esitellään Lean-tuotekehityksen taustoja, teoriaa sekä etuja verrattuna perinteisempään porttimalliseen tuotekehitysmalliin. Luvussa 2.2 jatketaan Leanin periaatteiden korostamaa informaatiovirran tärkeyttä onnistuneessa tuotekehitysprojektissa sekä siirrytään aihepiirissä lähemmäksi tuotantoa ja siten ylösajon aikaisia haasteita. Luvussa 2.2 käsitellään myös tiedon paketoimista siirrettävään muotoon, jotta uuden tuotteen valmistuksen kannalta tärkeää tietoa ei katoaisi. Luku 2.3 käsittelee ylösajoprosessin aikaisia haasteita, kuten nopeaa oppimista ja muutostöiden hallintaa.

### 2.1 Lean-tuotekehitys

Lean-ajattelu on lähtöisin Japanista Toyotan autotehtaalta, mistä se on viimeisen sadan vuoden aikana levinnyt ilmiöksi ympäri maailmaa. Menestys Lean-tuotannossa on johtanut siihen, että Lean-ajattelua halutaan soveltaa yrityksien eri prosesseissa ja eri tasoilla kuten esimerkiksi tuotekehityksessä. Modig & Åhlström määrittävät kirjassaan (2013, s.127) Leanin muun muassa näin: ”Lean on toimintastrategia. Se on strategia tavoitteen saavuttamiseksi. Tavoitteena on ennen kaikkea korostaa hyvää virtaustehokkuutta eikä resurssitehokkuutta. Eliminoinnin, vähentämisen ja hallinnan kautta on kuitenkin pyrkimyksenä parantaa jatkuvasti sekä virtaustehokkuutta että kapasiteetin tehokasta käyttöä.”

Tuotekehitys prosessina eroaa tuotannosta hyvinkin monella tasolla, joten on loogista, ettei Leanin periaatteita tuotannosta voida siirtää sellaisenaan osaksi Lean-tuotekehitystä. Tuotekehitys on kertaluontaista ja joka kerta voidaan päätyä arvoa tuottamattomaan lopputulokseen, kun taas tuotannossa voidaan toistaa samaa prosessia lukuisia kertoja peräkkäin tuottaen joka kerta saman arvon. Tuotekehitys eroaa tuotannosta myös siten, että sen eri vaiheet eivät ole prosessissa peräkkäisiä eivätkä ne välttämättä ole sitoutuneet toisiinsa. Tuotannon valmistusprosessi taas koostuu nimenomaan peräkkäisistä ja toisiinsa sitoutuneista vaiheista. Kaikista

merkittävin ero tuotekehitys- ja valmistusprosessilla on lopputuote. Tuotekehityksen lopputuotteena on tietoa, kun taas tuotannolla lopputuote on fyysinen tuote. (Reinertsen & Shaeffer 2005)

Khan et al. (2011) jakaa Lean-tuotekehityksen viiteen erilaiseen lähestymistapaan tutkijoiden kesken. Se, miten Leanin periaatteet tuodaan osaksi tuotekehitystä, vaihtelee hieman eri lähteissä. Jokaisella aiheen tutkijalla on oma näkemyksensä Leanista ja sen implementoinnista osaksi tuotekehitysprosessia. Tämä kuvastaakin hyvin sitä, ettei samat menetelmät välttämättä toimi joka ympäristössä ja ettei ole vain yhtä oikeaa tapaa toteuttaa Lean-toimintastrategiaa tuotekehityksessä. Liitteessä A on esitettyä viisi erilaista lähestymistapaa Lean-tuotekehitykseen ja kyseisen lähestymistavan esitelleet tutkijat teoksineen. Nämä viisi erilaista lähestymistapaa ovat seuraavat:

1. Nykyisen tuotekehityksen uudelleenbrändäys Lean-tuotekehitykseksi.
2. Lean-tuotannon ajatusten integroiminen muiden tuotekehitysteorioiden kanssa yhdeksi.
3. TPDS (Toyota Product Development System) ja leanin toimintatapojen integroiminen yhdeksi tuotekehitysteoriaksi.
4. Toyotan konseptin selittäminen TPDS-esimerkkitarinoiden avulla.
5. Käytännön harjoittajat soveltavat TPDS-konseptia tuotekehityksessään ja kertovat kokemuksensa.

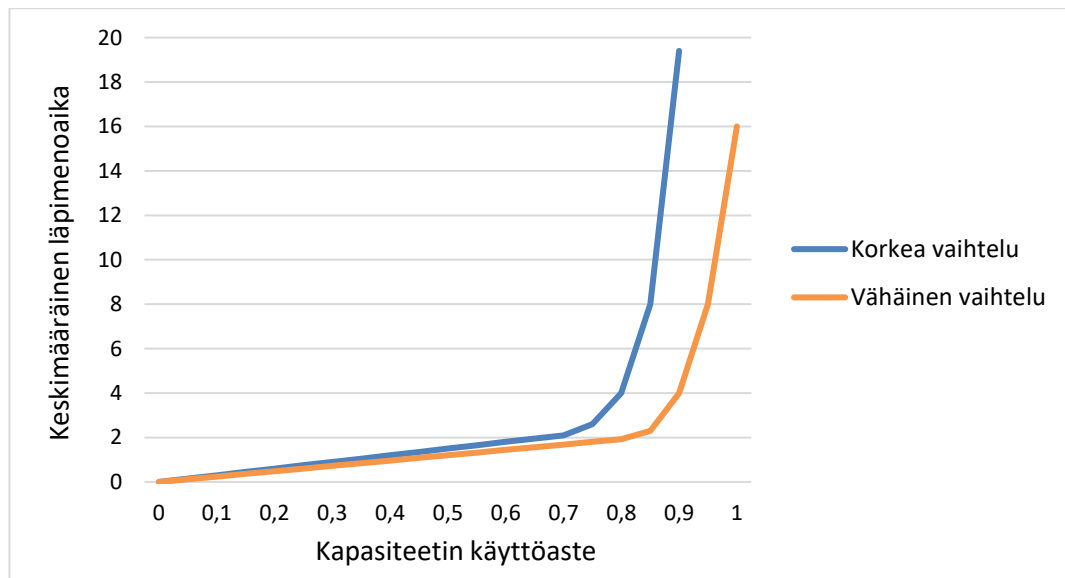
Khan et al. (2011) mukaan näistä viidestä eri lähestymistavasta vain kahta, kohtaa 4 ja 5, voidaan todella kutsua Lean-tuotekehitykseksi, sillä ne ovat ottaneet teoriansa tueksi vain TPDS periaatteita. Kohdat 1, 2 ja 3 tukeutuvat myös muihin tuotekehitysteorioihin tai ovat kirjailijoiden omaa tulkintaa Lean-toimintastrategian implementoinnista osaksi tuotekehitystä. Diplomityössä käsitellään TPDS-konseptin teorioiden lisäksi kohtien 2-5 esitettyjä lähestymistapoja.

Modig & Åhlström toteavat kirjassaan (2018, s. 141), että kaikki Lean kirjallisuudessa mainitut periaatteet eivät ole Leanin mukaisia, mutta se ei tarkoita, etteikö niitä voisi käyttää keinona toteuttaa Lean-toimintastrategiaa. Heidän mukaansa kaikki toiminta, mikä auttaa eliminoimaan, vähentämään ja käsittelemään organisaatiossa tapahtuvaa vaihtelua, ovat hyviä keinoja toteuttaa Lean-toimintastrategiaa. Oikein käytettynä Leanin periaatteiden avulla voidaan samanaikaisesti kehittää kustannustehokkuutta, laatua ja tuotekehityksen läpimenoaika. Lean-ajattelutavan vieminen suunnitteluun on tapa, jolla ei aina voida radikaalisesti vähentää työn määrää, mutta sen avulla voidaan vähentää epävarmuutta suunnittelussa. (Reinertsen & Shaeffer 2005)

### 2.1.1 Tuotekehitysprojektin vaihtelu ja läpimenoaika

Monet Leanin opit voidaan implementoida helposti osaksi tuotekehitystä, mutta vaihtelua tulee käsitellä eri tavalla. Tuotannossa vaihtelusta tulee päästä eroon, kun taas tuotekehityksessä sitä tulee vaalia ja kehittää, sillä vaihtelulla on tärkeä rooli tuotekehityksen arvontuotossa. Tärkeintä on osata tunnistaa, mikä vaihtelu on hyvää ja mikä haitallista. Hyvä vaihtelu luo arvoa, mutta myös lisää riskiä tuotekehitysprojektille. Haitallista vaihtelua on muun muassa kaikki se, mikä aiheutuu suunnittelematta tai huolimattomuudesta. (Reinertsen & Shaeffer 2005)

Morgan & Liker (2006) jakavat tuotekehityksessä esiintyvän haitallisen vaihtelun kahteen eri tyyppiin: työtehtävien erilaisuudesta johtuvaan vaihteluun ja työtehtävien saapumisaikojen vaihteluun eli se, että työtehtävä aloitetaan eri aikaan kuin on suunniteltu. Vaihtelu jo itsessään pidentää tuotekehitysprojektin läpimenoaikaa, mutta kun se yhdistetään kapasiteetin tarkasteluun, vaihtelun haitallinen puoli erottuu selkeämmin. Morgan & Liker ovat tarkastelleet vaihtelun ja resurssikapasiteetin välistä yhteyttä tuotekehityksessä. Kapasiteetin käyttöasteen kasvaessa pitenee luonnollisesti tuotekehitysprojektin läpimenoaikakin. Merkityksellistä on, että mitä enemmän prosessissa on vaihtelua, sitä huonommin voidaan nostaa kapasiteettia. Kuvassa 3 näytetään kapasiteetin ja vaihtelun vaikutusta tuotekehitysprojektin läpimenoaikaan.



**Kuva 3.** *Vaihtelun ja kapasiteetin vaikutus tuotekehitysprojektin läpimenoaikaan, perustuu lähteeseen (Morgan & Liker 2006, s. 79)*

Kuvasta 3 voidaan todeta, että vaihtelun kasvaessa resurssikapasiteetti huononee ja kapasiteetin nostolla pidennetään merkittävästi tuotekehitysprojektin läpimenoaikaa. Kun kapasiteettia on vähän, prosessi on herkempi reagoimaan vaihtelun negatiiviseen vaikutukseen. Tuotekehityksestä tulisi siis karsia ylimääräinen vaihtelu, mutta ymmärtää



myös vaihtelun tuoman rikkaus prosessiin, jossa pyritään luomaan jotain uutta (Reinertsen & Shaeffer 2005).

Uustuoteprojektilla tarkoitetaan tuotekehitysprojektia, jossa kehitetään täysin uusi tuote. Koska uustuoteprojektissa luodaan uutta, prosessin tulee sisältää variaatiota ja riskinottoa. Oikea hetki näiden tuomiselle on ne ajanjaksot, kun kapasiteetti on alhainen. Uuden kokeilua ei siis tule tehdä, ellei todella ole kapasiteettia hallita sen tuomaa vaihtelua prosessille. Pienelläkin kapasiteetin laskulla voidaan auttaa prosessia kestämään pientä vaihtelua ilman, että se vaikuttaa läpimenoaikaan. (Reinertsen & Shaeffer 2005)

Tuotekehitysprosessin sisäistä vaihtelua voidaan myös vähentää standardisoimalla prosessia. Morgan & Liker (2006, s.100-114) listaavat tuotekehitysprosessin standardisoinnin yhdeksi kolmesta Lean-tuotekehityksen standardoinnin kategorioista. Tuotekehitysprosessin standardoinnin keskiössä on yleisten tehtävien standardointi, työtehtävien työjärjestyksen ja keston standardointi sekä näiden yleistäminen osaksi jokaista tuotekehitysprojektia. Tämän avulla jokainen eri toiminnon työntekijä tietää, mitä eri osastoilla tapahtuu ja milloin sekä tietää tarkalleen mitä toisilta odotetaan. Kaksi muuta kategoriaa tuotekehitysprosessin standardoinnista ovat suunnittelun standardointi ja suunnittelun kyvykkyyden standardointi. Suunnittelun standardointi sisältää muun muassa modulaarisuutta, sovittuja komponentteja ja valmistettavuuden kriteerejä. Suunnittelun kyvykkyyden standardointi taas sisältää muun muassa vaiheita aina rekrytoinnista mentorointiin.

### **2.1.2 Virtauksen kiihdyttäminen**

Arvon virtaaminen on Lean-tuotekehityksen kulmakivi. Mascitelli (2011) määrittää uuden tuotteen tuotekehityksen prosessiksi, joka muuntaa tietämyksen ja informaation asiakasarvoksi. Luvussa kolme käsitellään informaation virtaamista, joten tässä kohtaa keskitytään määrittämään mitä tämä virtaava arvo on, ja mitkä tekijät tuotekehityksessä ovat arvoa tuottamatonta toimintaa eli esteenä arvon virtaamiselle. Mascitelli (2007, s. 17) määrittää arvon virtaamisen esteiksi muun muassa seuraavat tekijät:

1. Riittämättömät resurssit
2. Tarpeettomat dokumentit ja hyväksyntäkierrokset
3. Tarpeettomat muutospyynnöt
4. Huono kommunikointi
5. Viivästymiset, jotka pitkittävät prosessia

Kun tarkastellaan arvon virtaamista, tulee määrittää mitä arvo on. Tarkasteluun otetaan kaikki ne toiminnot ja tehtävät, joihin kuluu tuotekehitysprojektissa työskentelevän henkilön aikaa. Tämä tarkoittaa sekä uuden tuotteen suunnitteluun käytettyä aikaa kuin sen ylösajamiseen vaadittuja dokumentteja ja esimerkiksi työkalujen hankintaa. Käytetään niistä termiä toiminto. Mascitelli (2007) jakaa tuotekehitysprosessin toiminnot kolmeen eri kategoriaan:

- arvoa tuottavaan (value),
- välttämättömät toiminnot (enablers) ja
- hukka (waste).

Näistä ensimmäinen, arvoa tuottava toiminto, tarkoittaa kaikkea sitä toimintaa, joka on edesauttanut uuden tuotteen suunnittelua tai toimintoja, jotka ovat välttämättömiä uuden tuotteen valmistamisen kannalta, ja joista asiakas on tietoinen sekä valmis maksamaan. Toinen kohta, välttämättömät toiminnot, taas käsittää kaikki ne toiminnot, joiden avulla tuotetaan kohdan yksi toimintoa, mutta ne eivät suoraan tuota arvoa. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi projektiryhmän koordinointi. Viimeisenä kohtana on hukka, joka käsittää kaiken muun toiminnan, joka kuluttaa tuotekehitysprojektin aikaa, mutta ei kuulu edellä mainittuihin kohtiin eli ei tuota suoraan tai epäsuorasti arvoa. (Mascitelli 2007, s. 21-23)

Lean-johtamisfilosofiassa määritetään yleisesti seitsemän hukan lähdettä. Nämä ovat ylituotanto, varastot, yliprosessointi, ylimääräinen liike, odottelu, laatuvirheet sekä tarpeeton liike työskentelyssä (Kouri 2010, s.10). Samat hukan aiheuttajat löytyvät myös tuotekehitysprosessista, mutta niitä ei voi lähteä etsimään samalla tavalla kuin valmistusprosessista (Reinertsen & Shaeffer 2005). Eri lähteissä on havaittavissa eri tulkintoja tuotekehityksen hukan lähteistä. Taulukkoon 1 on koottu vertailun vuoksi Morgan & Liker (2006) ja Mascitelli (2007) esittämät hukan lähteet tuotekehityksessä.

Taulukko 1. *Hukan lähteet tuotekehityksessä*

## Morgan &amp; Liker (2006, s. 72-74)

1. Eri osastot työskentelevät eri tahdissa
2. Turha informaation vaihto
3. Turhan materiaalin tuottaminen
4. Virheiden korjaaminen
5. Odottaminen: päätösten, informaation yms. tulee tapahtua ennen kuin voidaan jatkaa
6. Turha ajankäyttö mm. turhat palaverit, välinäytöt, statusraportit, työmatkat
7. Informaatio odottaa resurssin vapautumista tai se katoaa eikä katoamista huomata heti

## Mascitelli (2007, s. 18)

1. Kaoottinen työympäristö, missä on jatkuvasti keskeytyksiä
2. Pullonkaulat resursseissa
3. Priorisoimattomat työt
4. Osastojen välinen kommunikointi on heikkoa
5. Ylisuunnittelu eli pyritään parempaan kuin asiakkaalla on tarve
6. Muutokset työn tavoitteissa kesken projektin
7. Tuotteen valmistettavuuden tarkastelu liian myöhään
8. Huonosti määritellyt tavoitteet
9. Turhat palaverit
10. Liikaa sähköposteja

Morgan & Liker (2006) on johtanut omat hukan lähteensä Leanin periaatteiden kautta. Niissä on nähtävissä suora yhteys Lean-tuotannon seitsemään hukan lähteeseen. Mascitelilla (2007) on taas nähtävissä enemmän projektille käytännönläheisiä hukan lähteitä. Tulevaisuuden tavoitteena on karsia hukan lähteet, maksimoida arvoa tuottava toiminta ja minimoida välttämätön toiminta. (Mascitelli 2007)

Morgan ja Liker (2006, s. 302) listaavat kolme merkittävintä tekijää, joilla voidaan eliminoida hukan syntymistä. Näistä ensimmäinen on tuotekehitysprojektin aikaisten hand-offien minimointi eli pyrkimys minimoida materiaalien turhat hyväksyntäkierrokset ja esimerkiksi pyrkimys standardoida tuotekehitysprosessi. Standardisoimalla ei vain poisteta hukkaa ja vähennetä prosessin sisäistä vaihtelua, mutta lisätään virtausta. Toinen merkittävä hukan eliminoija on yksityiskohtainen aikatauluttaminen ja resurssisuunnitelma, jolla varmistetaan tehokkain resurssikuorma läpi projektin. Kolmantena Morgan & Liker esittävät Kentou-menetelmän, jolla pyritään minimoimaan

muutostöiden tarve projektin myöhemmissä vaiheissa. Kentou-menetelmästä kerrotaan lisää alaluvussa 2.3.4.

### 2.1.3 Porttimalli vs. virtausmalli

Arvoa ei tuoteta pelkästään prosessirakenteella, mutta prosessirakenne on tärkeä mahdollistaja tehokkaalle arvontuottamiselle. Lean-tuotekehityksen tavoitteena on arvon jatkuva virtaaminen, mutta kaikki prosessimallit eivät tue tätä Leanin ajattelutapaa. Yleisesti käytössä oleva porttimalli (stage-gate) on yksi esimerkki prosessirakenteesta, joka ei tue jatkuvaa virtausta (Mascitelli 2007). Porttimalli käsittää yleisesti viisi vaihetta, joiden välissä on neljä erillistä porttia (Oorschot et al. 2010). Seuraavaksi käsitellään porttimallin hyötyjä ja haittoja verrattuna Leanin virtausmalliin.

Uustuotekehityksessä poikkifunktionaalinen yhteistyö on erityisen tärkeää. Tähän porttimalli on ihanteellinen: eri poikkifunktionaaliset osapuolet ovat ajan tasalla projektista selkeiden vaiheiden avulla. Porttimallin jäsennelty rakenne pakottaa eri toimijat yhteistyöhön läpi koko prosessin. Mascitelli (2007, s. 81-86) esittää kuitenkin, että sen jälkeen, kun organisaatio on oppinut yhteistyön eri toimijoiden välillä, tulee porttimallin rakenteesta vain turvatoimenpide, apupyörät, jonka kaavamainen rakenne voi jopa hidastaa luonnollista projektitiimin lähentymistä tuotekehitysprojektissa.

Porttimalli arvioi jokaisen vaiheen jälkeen portilla projektin riskejä. Markkinat muuttuvat nopeasti, joten riskin arviointi alentaa merkittävästi epävarmuutta ja riskiä epäonnistua läpi projektin ja koko organisaatiossa. Kannattamattomat projektit voidaan keskeyttää ja siten hallita virheen kustannusta. Porttimallin jäsennellyn rakenteen ansiosta on myös helpompaa havaita vaiheet, jotka ovat jääneet tekemättä. (Oorschot et al. 2010)

Mascitelli (2007, s. 81-86) kritisoi porttimallin riskinhallintaa teennäiseksi ja pienemmistä projekteista porttimallin strukturoitu rakenne tekee raskaan. Porttimalli sisältää yksityiskohtaisia dokumentointeja, jotka jo itsessään lisäävät hukkaa prosessiin. Strukturoitu rakenne on kuitenkin helppo esittää visuaalisesti, jolloin sitä on helppo seurata riippumatta siitä missä tehtävässä henkilö on.

Strukturoidusta rakenteestaan johtuen porttimalli prosessina on melko hidas, jolloin uuden tuotteen pääsy markkinoille hidastuu verrattuna virtausmalliin. Se ei myöskään noudata arvon luonnollista virtausta vaan pakottaa projektin läpikäymään tietyt vaiheet tietyssä järjestyksessä, mikä estää maksimaalisen arvontuottamisen. Mascitelli (2011) esittää, että porttimalli on vain johdon riskienhallintaprosessi, jolla ei juurikaan ohjata tuotekehitysprojektia kohti todellista tavoitettaan eli arvoa tuottavaan lopputulokseen.

Sandvikilla pintaporolaitteiden suunnittelulla on yleisesti käytössä porttimalli tuotekehityksessä. Kyseinen työkalu mahdollistaa projektien riskien arvioimisen ja valvomisen läpi projektin. Se määrittää myös melko tarkasti eri osapuolien työvaiheet ja vastuualueet ennen jokaista porttia ja siten läpi koko projektin. Tämä lisää organisaation sisäistä yhteistyötä ja auttaa valvomaan oikeiden työtehtävien tapahtumista oikeaan aikaan. Porttimalli kuitenkin yllämainitusti luo tuotekehitysprojektille jäykän, kaavaisen rakenteen ja pakottaa sen etenemään projektin vaiheet aina ennaltamääritetyssä järjestyksessä. Porttimalli sisältää myös paljon dokumentointia sekä kuukausittaista raportointia, mikä väistämättä luo hukkaa projektille.

### 2.1.4 Juurisyyanalyysi

Juurisyyanalyysin suorittamiseen on olemassa lukuisia työkaluja. Tässä diplomityössä esitellään ja myöhemmin käytetään Leanin 5 Miksi -työkalua ja kalanruotokaaviota juurisyyntä etsimiseen. Juurisyyanalyysi on ongelmanratkaisutyökalu, jonka avulla voidaan tutkia tietyn ilmiön perimmäisiä syitä. Sen avulla voidaan määrittää mitä tapahtui ja ymmärtää miksi näin tapahtui (Bergman et al. 2002). Juurisyyanalyysin määritelmä vaihtelee eri lähteissä, mutta yhteistä niissä on tutkia epähaluttujen ilmiöiden syitä. Se mille tasolle analyysi ulottuu, riippuu menetelmästä ja halutusta lopputavoitteesta.

Juurisyyanalyysissa tavoitellaan pohjimmaisista syistä ongelmille, joten juurisyyksi ei hyväksytä epätarkkoja määritelmiä kuten inhimillinen erehdys tai että operaattorin tulee olla jatkossa tarkempi. Juurisyyntä tulee olla sellaista muotoa, että sen ratkaisemalla voidaan jatkossa estää juurisyyntä ilmeneminen. (Gangidi 2019)

Andersen & Fagerhaug (2006) jakavat juurisyyntä neljälle eri tasolle:

1. Ongelma
2. Ongelman oire
3. Ensimmäisen tason aiheuttaja
4. Juurisyy

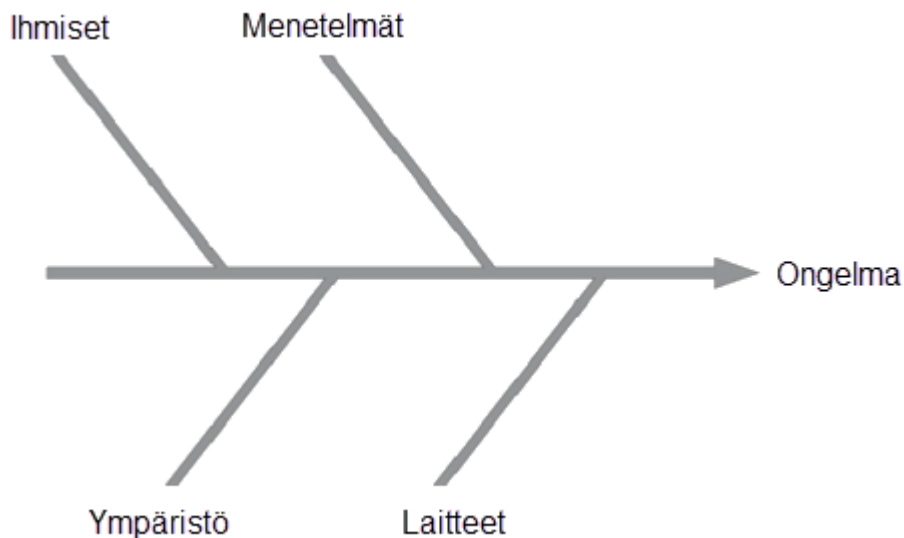
Juurisyyntä löytämiseen on olemassa lukuisia työkaluja, joita voi hyödyntää. Työkalusta riippumatta tulisi päätyä samaan juurisyyntä. Kuitenkin lähestymistavasta tai työkalusta riippuen voidaan löytää eri juurisyyntä (Andersen & Fagerhaug, 2006). Seuraavaksi esitellään Leanin kalanruotokaavio ja 5 Miksi -työkalu, joita on käytetty diplomityön empiirisen osion juurisyyntä analyysissä.

Kalanruotokaavio tai toiselta nimeltään syy-seuraus -kaavio tutkii ongelman ja sen syyn välistä yhteyttä. Sitä voidaan käyttää tuottamaan ja ryhmittelemään ongelmien syitä tai

systemaattisesti arvioimaan mikä voisi olla juurisyy ongelmalle. Andersen & Fagerhaug (2006) jakavat menetelmän käytön viiteen vaiheeseen:

1. Määrittele selkeästi ongelma, johon syitä lähdetään etsimään.
2. Piirrä paperille nuoli, jonka oikean laitaan, kärkeen, kirjoitat ongelman.
3. Määritä pääkategoriat sille ja kirjoita ne haarautumiin.
4. Ideoikaa ja kirjoittakaa kaikki mahdolliset syyt pääkategorioiden ympärille.
5. Analysoikaa löydetyt syyt ja määrittäkää kaikista todennäköisin juurisyy.

Syy-seuraus -kaaviota kutsutaan kalanruotokaavioksi sen ulkomuodon takia. Haarautumia eli pääsyitä kutsutaan ruodoiksi. Kuvassa 4 on esitetty pohja syy-seuraus -kaaviolle. Juurisyytä tutkittaessa jokaiseen ruotoon eli pääsyyn alle koostetaan juurisyyt ongelmalle. Näiden löytämiseen on hyvä käyttää toista hieman tarkempaa juurisyyanalyysin työkalua (Andersen & Fagerhaug, 2006). Tässä työssä päädyttiin käyttämään Leanin 5 Miksi -työkalua.



**Kuva 4.** Syy-seuraus -kaavio, perustuu lähteeseen (Andersen & Fagerhaug 2006).

5 Miksi -työkalulla etsitään juurisyytä kysymällä nimensä mukaisesti viisi kertaa miksi jokaisen ongelman kohdalla. Jotta analyysistä olisi todella hyötyä, tulee siinä mennä tarpeeksi syvälle tasolle selvittämään juurisyytä eikä vain yhtä oiretta. Ei siis saa jäädä jumiin ensimmäisen tason syihin tai oireisiin. Analyysissä tulee edetä sellaiselle ongelman tasolle, josta voidaan löytää ratkaisu ongelmaan ja analyysin lähtökohtana tulee olla selkeästi määritetty ongelma. Määrittelyssä ei tule ottaa kantaa mahdollisiin ongelman aiheuttajiin eli syihin vaan sen tulee kertoa todettu ongelma. 5 Miksi -analyysin

jälkeen tulisi kyetä etenemään käänteisessä järjestyksessä juurisyystä ongelmaan siten, että esitys on johdonmukainen. (Gangidi 2019)

Kun ongelman juurisyys on tunnistettu 5 Miksi -työkalun avulla voidaan ne liittää osaksi edellä mainittua kalanruotokaaviota. Juurisyys koostetaan pääsyiden alle, jolloin kokonaisuudessaan kaavio esittää syy-seuraus -kaavion ongelmasta sen mahdollisiin pääsyihin ja lopulta juurisyihin. Näin voidaan lähteä etsimään erikseen ratkaisua ongelman estämiseksi tulevaisuudessa. (Kuusisto 2017)

## **2.2 Projektin tuotteistaminen**

Alaluvussa 2.1 todettiin, että tuotekehitysprojekti tuottaa informaatiota, minkä pohjalta tuotanto valmistaa fyysisen tuotteen. Onkin loogista, että tämän informaation siirtyminen tuotekehitysprojektin tiimiltä tuotannolle ja koko tuotannon verkostolle on projektin kannalta erittäin tärkeää. Hyvä viestintä on kriittistä onnistuneelle tuotekehitykselle. Mutta mitä hyvä viestintä on? Morgan & Liker (2006, s. 259) nostavat esille, että lisääntynyt viestintä ei aina ole hyväksi projektille tai, että kasvokkain tapahtuvat tapaamiset eivät aina tue onnistunutta viestintää. Tärkeintä on, että oikeat ihmiset kohtaavat ja jakavat oikeata tietoa oikealla hetkellä.

Tuotekehityksessä kriittinen kohta on, kun tuotekehitysprojektin aikana tuotettu tieto siirtyy tuotantoon. Tuotekehitysprojektin aikana on tuotettu mittavasti tietoa ja tietämystä uudesta tuotteesta. On saatettu tehdä matkan varrella virheitä, joiden avulla on opittu ymmärtämään paremmin miksi jonkin tietyn osakokonaisuuden tulee sijaita tietyssä paikassa tai omata tietty kiinnitystapa. Kun sitten tuotekehitysprojekti loppuu ja tulee aika siirtää tämä osaaminen tuotannolle sarjatuotantoa varten, saattaa suurin osa tietämyksestä kadota. (Morgan & Liker, 2006)

Projektin tuotteistaminen käsittää informaation paketoimisen sellaiseen muotoon, että mahdollisimman vähän tietoa katoaisi siirron yhteydessä (Sipilä 1999). Tässä alaluvussa käsitellään projektin informaatiiovirtaa ja miten varmistaa oikean tiedon vaihtuminen oikealla hetkellä projektin näkökulmasta. Lopuksi esitellään tuotteistamista ja miten sitä voisi hyödyntää uustuotekehitysprojekteissa.

### **2.2.1 Informaatiovirta**

Informaation saaminen oikeaan paikkaan oikeaan aikaan luo arvoa tuotekehitysprojektille ja tästä syystä informaation virtaaminen on Lean-tuotekehitysprojektin näkökulmasta tärkein kulmakivi (Mascitelli 2011). Alaluvussa 2.1.3 todettiin, että tieto on tuotekehitysprojektin suurin hukan lähde, joten voidaan todeta, että

suurin hukan aiheuttaja on tiedon ja tietämyksen informaatiovirran puutteellinen virtaus tai katkeaminen kokonaan. Arvon tuottamisen kannalta tärkeintä on saada oikea informaatio oikeaan paikkaan.

Tuotekehitysprojektissa tieto on kaiken lähtökohtana. Onkin siis tärkeää, että tieto virtaa läpi koko organisaation. Jotta tarvittu tieto liikkuisi poikkifunktionaalisten toimijoiden välillä sekä hierarkiatasossa niin ylös kuin alaspäin tulee jokaisen tuotekehitysprojektin jäsenen sisäistää seuraavat kohdat:

- yksityiskohtaisesti tietää miten kukin työtehtävä tulee suorittaa,
- tietää projektiryhmän jäsenten tarkat roolit, vastualueet ja kommunikointisuhteet,
- ymmärtää tärkeimpien aktiviteettien inputit, outputit ja riippuvuussuhteet sekä
- tietää aktiviteettien järjestys

Yllä esitettyjen kohtien ymmärtäminen edesauttaa tiedon virtaamista. Kun ymmärretään omat ja toisten vastualueet, on helpompi jakaa tietoa oikeiden henkilöiden kanssa oikeaan aikaan. Tarkkojen määritysten avulla on myös helpompi tunnistaa ongelmakohdat, joihin tulee puuttua. (Morgan & Liker 2006, s. 86-87)

Morgan & Liker (2006, s. 261) näkemys viestinnästä on seuraava:

1. Jos kaikki ovat vastuussa, kukaan ei ole vastuussa.
2. Jos jokaisen henkilön on ymmärrettävä kaikki, kukaan ei ymmärrä mitään kovinkaan syvällisesti.
3. Jos tieto jaetaan kaikille, kukaan ei keskity oman tehtävänsä ja roolinsa kannalta tärkeimpään tietoon.
4. Mitä enemmän tietoa jaetaan työntekijöille, sitä vähemmän siihen keskitytään.

Tietoa tulee siis jakaa vain oikeille ihmisille ja heillekin vain heille oleellista tietoa. Tiedon virtaaminen läpi organisaation ei siis tarkoita sitä, että kaikki tieto jaetaan kaikkien kesken vaan, että ne henkilöt, joille tieto on oleellista saavat sen riippumatta heidän sijainnistaan organisaation rakenteessa. Ylimääräisen tiedon jakaminen johtaa siihen, ettei henkilö keskity enää oleellisen tiedon vastaanottamiseen vaan oleellinen tieto hukkuu epäoleellisen tiedon sekaan eli oikea informaatio ei päädy oikeaan paikkaan oikealla hetkellä. (Morgan & Liker 2006)

Tuotekehitystiimin informaation kulkemista voi hidastaa myös viikoittaiset palaverit, koska ongelman ilmetessä henkilö jää odottamaan viikoittaista palaveria. Tällöin

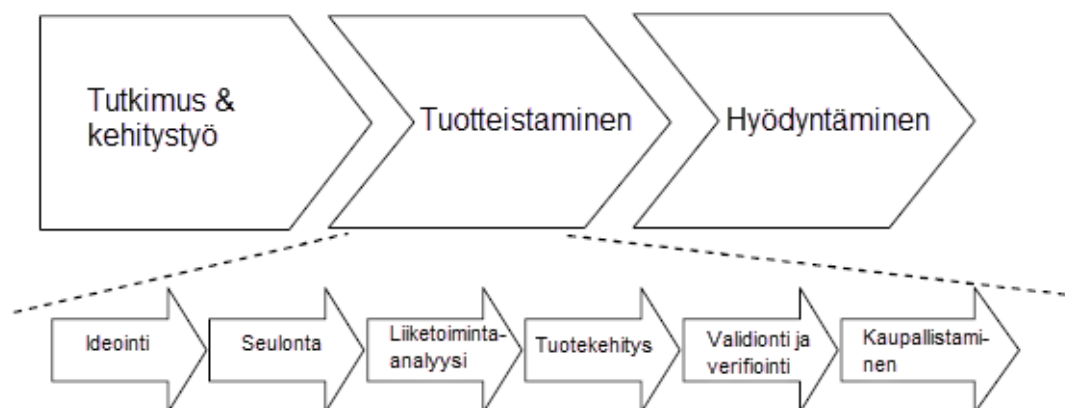


ongelma tulee vasta viikkopalaverissa koko tiimin tietoon. Informaatiovirta keskeytyy pahimmillaan koko viikoksi. Tätä voidaan ehkäistä tuomalla lyhyitä pystypalavereita useampi pitkin viikkoa. (Mascitelli 2011)

## 2.2.2 Sisäinen ja ulkoinen tuotteistaminen

Tuotteistaminen terminä nousee useimmiten esille palvelun tuotteistamisessa. Tällöin palvelun tuottamista pyritään määrittämään, vakioimaan ja konkretisoimaan tietynlaiseksi. Tällä pyritään siihen, että samaa palvelua voitaisiin toistaa lukuisia kertoja tuottamalla saman arvon ilman, että joka kerta täytyisi keksiä itse palvelun tuottamisprosessia uudelleen (Sipilä 1999). Suominen et al. (2009) määrittelee tuotteistamisen standardoiduksi prosessiksi, jonka tavoitteena on tuottaa korkealaatuinen tuote tai palvelu markkinoille prosessissa tuotetusta informaatiosta. Tuotteistamisen tavoitteena on paketoida tarjottu palvelu tai teknologia siten, että asiakas ymmärtää kyseisen palvelun tai teknologian sisällön ennen ostamista. Tuotteistaminen on siis tiedon tuottamista. (Suominen et al. 2009, s. 21). Oli kyse sitten palvelun tai uuden teknologian tuotteistamisesta, voidaan tuotteistamisen oppeja hyödyntää myös uustuoteprojektien tuotteistamiseen eli oikeanlaisen informaation tuottamiseen projektista tuotannolle.

Tuotteistaminen tapahtuu läpi koko uustuoteprojektin. Tuotteistaminen ei siis ole vain yksi osa uustuoteprojektia vaan uustuoteprojekti on yksi osa tuotteistamista. Kuvassa 5 havainnollistetaan, miten tuotteistaminen alkaa siitä, kun aloitetaan uuden teknologian ideointi ja päättyy siihen hetkeen, kun uusi tuote on kaupallistettu. (Suominen et al. 2009, s. 12-13)

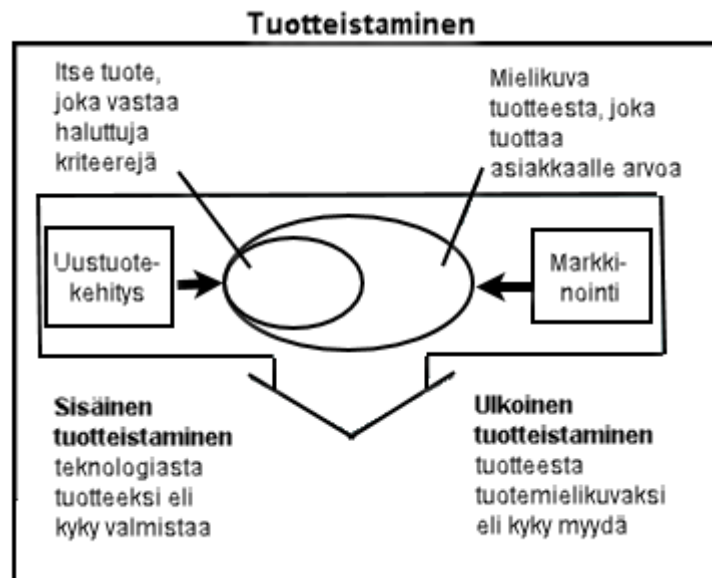


**Kuva 5.** Tuotteistamisen sijoittuminen uustuotekehitysprojektiin, perustuu lähteeseen (Suominen et al. 2009, s. 13)

Tuotteistaminen käsittää vaiheita uuden tuotteen määrittelemisestä, yksityiskohtaisesta kuvailemisesta, parantelemisesta, valmistamisesta ja jatkuvasta kehittämisestä, jotta

asiakaan kokema arvo voitaisiin maksimoida. Mitä pidemmälle tuotteistaminen viedään, sitä helpommin haluttu lopputulos saavutetaan. Edellä mainitun lisäksi Simula et al. (2008, s. 5-7) jakaa tuotteistamisen sisäiseen ja ulkoiseen tuotteistamiseen.

Sisäisen tuotteistamisen avulla luodaan tuotekehitysprosessin toimintojen aikana itse tuote. Vielä tärkeämpää on, että sen aikana luodaan resepti tuon tuotteen valmistamiseksi. Ulkoinen tuotteistaminen taas luo tuotteesta laajemman tuotemielikuvan, joka tuottaa asiakkaalle arvoa. Ulkoinen tuotteistaminen on kyvykkyyttä myydä sisäisen tuotteistamisen aikana luotua tuotetta. Kuvassa 6 kuvataan sisäisen ja ulkoisen tuotteistamisen suhdetta. (Simula et al. 2008)



**Kuva 6.** Sisäisen ja ulkoisen tuotteistamisen ulottuvuudet, perustuu lähteeseen (Simula et al. 2008, s. 6)

Tämän diplomityön kannalta ulkoisella tuotteistamisella ei saada etuja itse tuotekehitysprosessiin vaan keskitymme käsittelemään sisäistä tuotteistamista. Mielenkiintoista tuotteistamisessa on sen konsepti dokumentoida tuotteen valmistus niin yksityiskohtaisesti, että sen valmistusta voidaan toistaa yhä uudelleen päätyen samaan tuotteeseen. Sisäisessä tuotteistuksessa määritellään työtavat, miten tuote valmistetaan sekä osat, joita sen valmistamiseen tulee käyttää. Siinä määritetään myös eri henkilöiden roolit ja heidän vastuualueensa. Tuotteistamisen etuja ovat tarkka dokumentaatio ja vakioitu toteutus. (Sipilä 1999)

Sisäisen tuotteistamisen tarkoitus on yhdenmukaistaa ja systemoida yrityksen sisäinen prosessi, jonka lopputuloksena on haluttu tuote. Tuotteistamiselle ei haeta työn täydellistä standardisoimista ja siten luovuuden tukahduttamista, vaan sitä, että turhat ja rutiininomaiset työvaiheet saataisiin karsittua pois. Sisäisen tuotteistamisen keskeisin

vaihe on prototyypin ja lopullisen tuotteen välinen ajanjakso. Tällöin tuotteistamisen keskeisimpiä tehtäviä on muun muassa seuraavat (Simula et al. 2009):

- Tuotesuunnittelun viimeistely
- Materiaalien valinta ja hankinta
- Tuotannon työkalut
- Kokoonpano-ohjeet
- Tuotannon ylösajoprosessi
- Tuotetietojen hallinta
- Testaus ja laatukontrolli

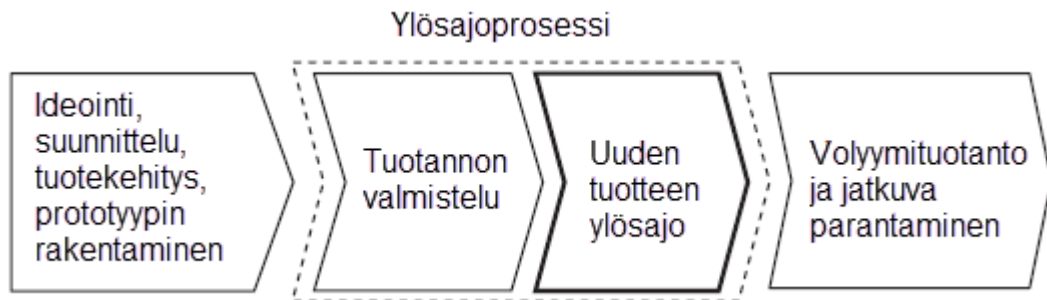
Simula et al. (2009, s. 6-7) huomauttaa, että monesti uustuoteprojektin suunnittelijoiden kiinnostus loppuu siinä vaiheessa, kun uuden tuotteen tekniset ongelmat on ratkaistu. Yllä mainitut työtehtävät ovat tukemassa sitä, että uusi tuote on todella valmistettavissa toistuvasti ja, että se on tehtävissä yrityksen kannalta järkevällä kustannuksella. Vasta tämän jälkeen voidaan puhua uudesta tuotteesta.

Valtakoski & Järvi (2016) esittävät, että tuotteistamisen epäonnistumiseen johtaa kaksi tekijää: etulinjan liian vähäinen osallistuminen tuotekehitykseen ja poikkifunktionaalisten osastojen välinen riittämättömän yhteistyön. Heidän tutkimuksessaan havaittiin myös, että saman tyyppisten palveluiden tuotteistamisen lopputuloksena voi olla hyvin erilaiset tulokset; toinen onnistuu ja toinen epäonnistuu. Onnistumiseen vaikutti poikkifunktionaalisten osastojen huono kommunikointi sekä työntekijöiden henkilökohtainen haluttomuus jakaa omaa tietämystään. Aina siis samanlaisilla toimintaohjeilla ei päästä samaan lopputulokseen, jos organisaation kulttuuri ei kannusta riittävästi jakamaan omaa tietämystään. Keskeistä on, että eri osapuolilla on projektissa yhteinen tavoite ja, että henkilöt on sitoutettu projektiin.

## 2.3 Ylösajoprosessin haasteet

Ylösajoprosessin ajallinen määrittely on hyvin projektikohtaista ja eri lähteiden määrittelyissä on eroa. Sandvikilla ylösajoprosessi on määritetty alkavan nollasarjan kokoonpanosta, kun prototyyppi on verifioitu, ja päättyvän sarjatuotantoon ennen tuotekehitysprojehtin sulkemista. Wochner et al. (2016) määrittää ylösajoprosessin alkavan siinä vaiheessa, kun aletaan valmistaa ensimmäistä tuotetta, prototyyppiä, ja päättyvän siihen, kun tuotanto on saavuttanut täyden kapasiteetin sarjatuotannossaan.

Kuvassa 7 on havainnollistettu Li et al. (2014) näkemys, että ylösajoprosessin sijoittuu vasta tuotekehityksen ja prototyypin rakentamisen jälkeiseen aikaan.



**Kuva 7.** Ylösajoprosessi päättyy, kun tuotanto on saavuttanut täyden volyyminsä, perustuu lähteeseen (Li et al. 2014)

Tuotekehityksen suuret kustannukset luovat paineita tuotantoyrityksille leikata tuotekehitysprojektien ajallista kestoa (time-to-market), mutta myös saavuttaa tuotannon täyskapasiteetti (time-to-volume) mahdollisimman nopeasti. Ylösajoprosessin haasteena ovat alhainen tuotantokapasiteetti ja samanaikainen korkea kysyntä (Terwiesch & Bohn 2001). Kun tuotekehitysprosessin alussa tärkeässä roolissa ovat tuotesuunnittelu, niin ylösajoprosessissa on tärkeintä keskittyä tuotantoprosessin toimivuuteen (Gross, 2014). Tällöin keskeisessä roolissa ovat oppiminen ja prosessin kehittäminen.

Uuden tuotteen tuotantoprosessi on usein huonosti ymmärretty. Lähes aina uuden prosessin alussa ilmenee häiriöitä, jotka johtavat kapasiteetin suunnittelemaan laskuun. Kun kapasiteetti laskee, pitenee uuden tuotteen läpimenoaikaakin. Laitetta kohden alkaa kertyä enemmän kokoonpanotunteja kuin on ihanteellista, mikä laskee uuden tuotteen kannattavuutta. (Terwiesch & Bohn 2001)

Volyymin laskeminen voi johtaa menetettyyn myyntiin, mutta samaan aikaan uudessa tuotteessa ilmenneet laatuongelmat kuten muutostyöt tulisi korjata. Muutostyöllä tarkoitetaan uuden tuotteen osaan tai osakokonaisuuteen tapahtuvaa suunnittelumuutosta. Haasteena on hallita muutostöitä, joiden vaikutukset ulottuvat nykyhetkestä tuotteen elinkaaren loppuun asti. Onkin tärkeää löytää tasapaino asiakasarvon ja tuotantoprosessin häiritsemisen välille. Tuoteominaisuuksiin ja -vaatimuksiin tulee lähes poikkeuksetta muutoksia projektin edetessä, joten organisaatiolla tulee olla kykyä mukautua muuttuvaan ympäristöön.

### 2.3.1 Oppiminen ylösajoprosessissa

Ylösajoprosessin alussa tuotantoprosessia ei välttämättä ymmärretä tarpeeksi hyvin. Uudet tuotokset eivät toimi halutulla tavalla, asennustyö on hidasta ja operaatioita

joudutaan korjaamaan. Kaiken tämä keskellä olisi tärkeää, että työntekijät oppisivat valmistamaan uutta tuotetta mahdollisimman hyvin ja nopeasti, jotta tuotannon kapasiteetti nousisi halutulle tasolle. (Terwiesch & Bohn 2001)

Oppimisen tärkeitä kohtia ovat tuotantoprosessin säätäminen, työkalujen ja -välineiden muokkaaminen sekä parempien ja nopeampien tarkistusmenetelmien kehittäminen. Aikainen oppiminen on huomattavasti arvokkaampaa ylösajoprosessin kehittymiselle, kuin myöhäinen ja tästä syystä siihen panostaminen on tärkeää (Terwiesch & Bohn 2001). Almgren (1999) tutkimuksessa huomattiin, että kun alussa tuotantonopeutta laskettiin 50-70% maksimista, osa operaattoreista oppi virheellisiä ja hitaampia työtapoja. Tuotantonopeuden nostaminen aiheutti ongelmia, koska virheelliset työtavat oli jo omaksuttu.

Tuotantoprosessin kannattavuus on tärkeä mittari mittamaan ylösajoprosessia ja sitä kautta myös oppimista. Se mittaa prosessin kehittymistä taloudellisesta näkökulmasta ja siten reagoi nopeasti, jos tuotantoprosessin ymmärryksessä on aukkoja. Matalatuottoiset tai tuottamattomat prosessit viittaavat siihen, että ylösajoprosessin päätöstentekijät olettavat oppimisen tapahtuvan vain kokemuksen myötä. Pelkkä toistojen määrä ei saa aikaan kokemuseräistä oppimista, vaan yksilöiden mahdollisuuteen tehdä havaintoja ja kehitysehdotuksia tulee jättää aikaa. Oppimisen tärkein tekijä on mahdollisuus päästä kokeilemaan. Terwiesch & Bohn (2001) esittävätkin, että volyymia tulisi laskea alussa, jotta oppimista voisi tapahtua kokeilemisen kautta. Heidän mukaan kaksi muuta merkittävää vaikuttajaa oppimiseen ovat aikaisempi tuotantokokemus ja tuotesuunnittelun käyttämä aika.

Terwiesch & Bohn (2001) esittämä lähestyminen oppimiseen poikkeaa yleisemmin esitetyistä malleista, joissa tuotantovolyyymi eli toistojen määrä on suurin tekijä oppimiselle. Yleisimmin käytetty lähestyminen oppimiseen on oppimiskäyrä, jonka mukaan kokoonpanotunnit laskevat sitä mukaan, kun toistot lisääntyvät. Oppimiskäyrän haittapuolena on se, ettei se ota huomioon prosessin muita häiriöitä, kuten laatuongelmia (Jeang 2015).

Kokoonpanotunteja seuraamalla voidaan laskea toteutunutta oppimista oppimiskäyrän avulla. Teoreettisella oppimiskäyrällä voidaan myös ennustaa kokoonpanotuntien kehittymistä. Kokoonpanotunteja voidaan ennustaa kaavalla

$$\gamma = ax^{-b}, \quad (1)$$

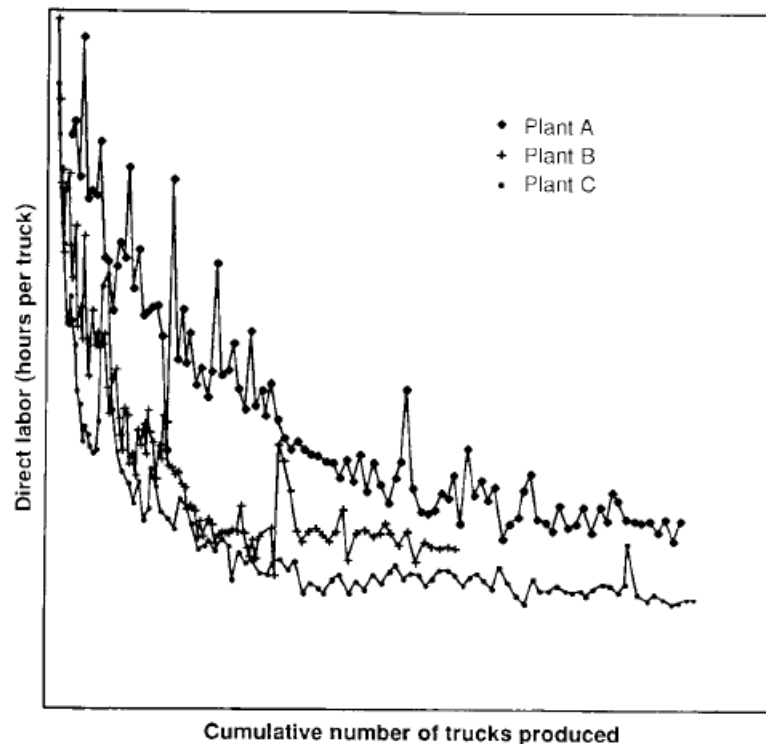
missä  $\gamma$  on  $x$ :n laitteen kokoonpanotunnit,  $a$  on ensimmäisen laitteen kokoonpanotunnit, ja  $b$  oppimisen parametri, joka mittaa mitä tahtia kokoonpanotunnit laskevat, kun ulostulon kumulatiiviset tunnit kasvavat (Argote & Eppler, 1990). Yleisimmin käytetty

oppimiskäyrä on 80%, mutta taulukossa 2 on esitettynä muuttujalle  $b$  eri arvoja eri oppimiskäyrillä.

Taulukko 2. *Oppimiskäyrän parametrit (Argote & Epple, 1990)*

<b>Oppimiskäyrä, %</b>	<b><math>b</math></b>
<b>95</b>	-0,074
<b>90</b>	-0,152
<b>85</b>	-0,234
<b>80</b>	-0,322
<b>75</b>	-0,415
<b>70</b>	-0,515

Oppiminen on kuitenkin prosessi, jossa on nähtävissä hyvin paljon vaihtelua. Samaa tuotetta valmistavien tuotannon eri kokoonpanolinjojen välillä voi olla havaittavissa oppimisen suhteen enemmän vaihtelua, kuin esimerkiksi täysin eri tuotteiden valmistuksen välillä. Oppimisen kehittymistä tulisikin seurata organisaatioissa tuotantolinjakohtaisesti. Kuvassa 8 on havainnollistettu samaa tuotetta valmistavien eri kokoonpanolinjojen oppimiskäyrän toteutumista (Argote & Epple, 1990). Vaihtelu eri linjojen välillä on mittavaa ja on havaittavissa, että edes tarkastelujakson lopulla ei päästä samalle tasolle oppimisen suhteen. Voidaankin todeta, että ympäristöllä on merkittävä vaikutus oppimiskäyrään.



**Kuva 8.** *Oppimiskäyrän toteutumisen vaihtelu eri kokoonpanolinjojen välillä saman tuotteen osalta (Argote & Eppler, 1990)*

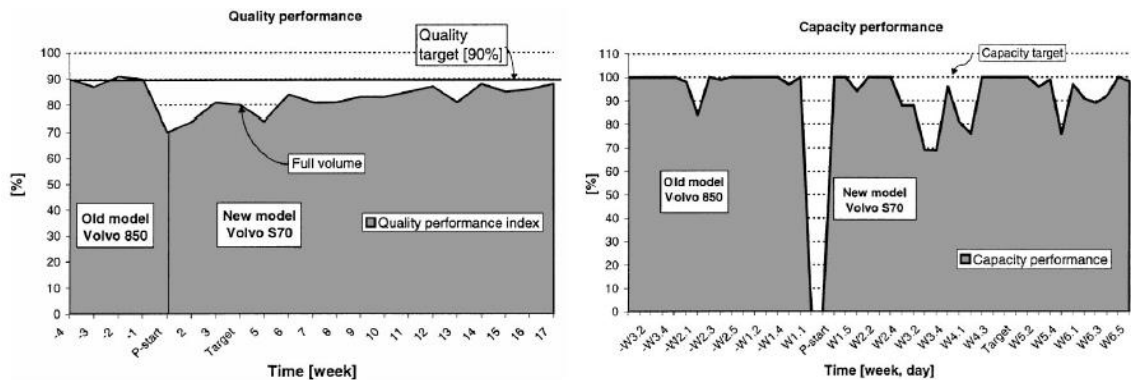
Argote & Eppler (1990) esittävät kuvan 8 vaihtelun johtuvan työntekijöiden vaihtuvuudesta ja sitä kautta tiedon katoamisesta, informaatiovirran tehottomuudesta tuotannossa ja koko organisaatiossa, tietämyksen epäonnistuneesta siirrosta muun muassa vanhasta tuotantolinjasta uuteen tuotteeseen ja merkittävistä tuotantojen välisistä rakenteellisista eroista. Vaihteluun voi myös Argoten & Epplerin mukaan vaikuttaa se, että tuotannossa esiintyy materiaali- tai työvoimapuutteita tai työntekijä unohtaa miten työtehtävät suoritetaan esimerkiksi pidemmän tauon takia.

Kaikki työntekijät työskentelevät oman tietämyksensä perusteella niin kuin parhaimmaksi katsovat. Tietämystä on vaikea hankkia jälkikäteen, vaan parhaiten se opitaan tuotekehityksen aikana. Jakamalla laajemmin kokemuksesta oppia projektin aikaisista ongelmista voidaan estää samojen virheiden toisto. Paremmalla ryhmien välisellä integraatiolla voidaan saavuttaa enemmän innovaatioita ja vähemmän päällekkäistä työtä ja siten lyhyempi läpäsyaika. Poikkifunktionaalinen yhteistyö hyödyntää tehokkaammin organisaation osaamista. (Huang & Newell 2003)

### 2.3.2 Ylösajoprosessin vaihtelun tunnistaminen

Tutkimuksessa (Almgren 1999) on tutkittu Volvon S70-mallin esituotannon ylösajoprosessin ulostuloon vaikuttavia tekijöitä eli mitkä tekijät vaikuttavat ylösajoprosessin tehokkuuteen. Onnistumisen mittareina oli 100% kapasiteetti ja 90%

laatutaso. Kuvassa 9 nähdään mittareiden kehittyminen vanhan mallin lopetuksesta uuden S70-mallin valmistukseen. Tarkastelujakso päättyi siihen, kun on saavutettu 100% kapasiteetti sekä 90% laatutaso.

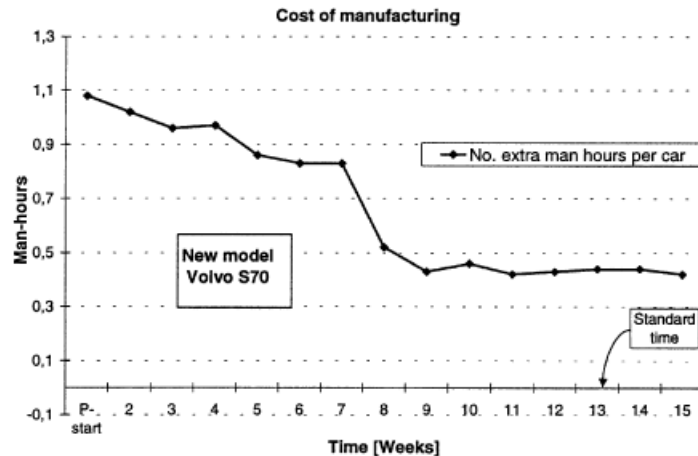


**Kuva 9.** Volvo S70-mallin tuotannon kapasiteetin ja laatutason kehittyminen ylösajoprosessin alussa (Almgren 1999)

Kuvassa 9 esitetyistä mittareista laatu osoittautui haasteellisemmaksi saavuttaa. Tavoitteena oli saavuttaa haluttu laatutaso kahden viikon aikana, mutta todellisuudessa siihen meni 16 viikkoa. Täyden kapasiteetin saavuttamiseen meni kolme viikkoa. Laatuongelmien aiheuttajia oli kolmea eri tyyppiä: saapuvan materiaalin virheellisyys, operaattorien riittämätön kyvykkyys ja tuotesuunnittelusta johtuvat laatuongelmat. Alussa laatuongelmista suurin osa oli tuotesuunnittelusta johtuvia laatuongelmia. Nämä ongelmat olivat pitkälti olleet jo tiedossa, mutta niitä ei ollut hoidettu ennen sarjatuotannon ylösajon aloitusta. (Almgren 1999)

Saavuttaakseen halutun laatutason Volvo perusti oman laatuyksikön, joka ratkoi ensin valmistuneiden laitteiden laatuongelmat, minkä jälkeen siirtyi tuotantolinjalle ratkomaan laatuongelmia ja tasoittamaan laatuongelmista aiheutunutta prosessin ylikuormitusta. Volvon S70-mallin ylösajoprosessin aikana ratkottiin 1800 kappaletta muutostöitä. Kuvassa 10 havainnollistetaan, miten ylimenevät kokoonpanotunnit kehittyivät sinä aikana, kun laatuyksikkö paneutui laatuongelmiin. Nähdään, että tarkastelujakson aikana ylimenevien kokoonpanotuntien kustannukset on saatu puolitettua.





**Kuva 10.** Ylimenevien kokoonpanotuntien kehitys ylösajoprosessin aikana (Almgren 1999)

Tutkimuksessa (Almgren 1999) tunnistettiin neljä erillistä tekijää, jotka vaikuttavat ylösajoprosessin tehokkuuteen. Nämä ovat:

1. **Työskentelytapa:** individuaalit työskentelytavat ja se miten töiden jakaminen on koordinoitu. Työskentelytavat tarkentavat miten työ tulisi tehdä (Standard Operating Procedures), ja mitä työkaluja käyttää. Siihen vaikuttaa kaksi vaihtelun tekijää, jotka ovat koulutus ja tuotesuunnittelu valmistettavuuden ja ergonomian suhteen
2. **Työtahti:** Linjan määrittämä työtahti, jolla tietty työkokonaisuus tulee tehdä. Toimintahäiriöitä ilmenee, kun linjaa ajetaan todellista työtahtia hitaammalla.
3. **Prosessihäiriöt:** Häiriöt, jotka johtavat netto-operaatioajan laskemiseen. Prosessihäiriöt vaikuttavat kapasiteettiin ja laatuun. Mikäli välivarastoja ei ole riittävästi, prosessihäiriöt johtavat lopulta kapasiteetin laskuun. Näitä häiriöitä ovat toimittajien toimitusongelmat, operaattorien kyvykkyyden puute sekä laitteiston ja työvälineiden toimimattomuus.
4. **Yhtenäisyys:** Yhtenäisyys käsittää asiat kuten miten hyvin osat ovat yhteensopivia, asentajien yhtenäisyys, toimittajat toimittavat laadullisesti yhtenäisiä osia ja työvälineet toimivat saman lailla joka toistolla.

Jotta ylösajoprosessi sujuisi tehokkaasti on tärkeää tunnistaa, analysoida ja verifioida prosessia hidastavat tekijät jo ennen sarjatuotannon aloittamista. Esituotannossa havaitut ongelmat ovat verrattavissa sarjatuotannon aikaisiin ongelmiin. (Almgren 1999). Volvon esimerkissä on havaittavissa saman tyyppisiä ongelmia kuin diplomityön kohdeprojektissa. Nopealla reagoimisella kohdeprojektin laatuongelmiin ylösajon alussa

olisi voitu saavuttaa merkittäviä säästöjä ylimenevien kokoonpanotuntien kustannusten kohdalla, kuten Volvon esimerkki yllä osoitti.

### 2.3.3 Muutostyön hallitseminen ylösajoprosessissa

Muutostyöt ovat osa jokaista tuotekehitysprojektia, koska tuotekehitys on luonteeltaan iteratiivista eikä lineaarista prosessia. Muutostyöt keskittyvät korjaamaan luotuja virheitä, integroimaan osia yhteen ja parantelemaan luotua tuotetta. Monesti ne ovat tulosta rinnakkaisesti tapahtuvista toiminnoista, joiden välillä informaatiovirta on ollut puutteellista. Muutostyöt vievät kolmanneksen, jopa puolet, suunnittelun resursseista ja ovat siten merkittävä kustannus projektille. Ne ovat kuitenkin tärkeitä tuotteen kehittymiselle, joten niitä ei tule eliminoida kokonaan pois. (Loch & Terwiesch, 1999)

Muutostöillä on kuitenkin negatiivisia vaikutuksia ylösajoprosessille, sillä ne häiritsevät normaalia tuotantoprosessia muun muassa laskemalla kapasiteettia, hidastamalla oppimista ja pidentämällä läpimenoaika. Muutostyöt tulisi käsitellä ennen sarjatuotannon aloitusta, jotta ylösajo olisi mahdollisimman häiriötöntä. Muutostöiden haasteena on kuitenkin se, että ne voivat nousta esiin juuri ennen tuotannon aloitusta, sen aikana tai vasta, kun tuote on saapunut asiakkaalle (Reidelbach 1991).

Muutostöissä tulee myös osata arvioida sen vaikutuksia muihin komponentteihin ja kokonaisuuksiin. Keskimäärin jokainen komponentti suunnitellaan kahteen kertaan, johtuen juurikin siitä, ettei muutosten vaikutuksia osata arvioida. Vierivän lumipallon tavoin pieni muutos jossain voi johtaa monen muun komponentin muokkaamisen tarpeeseen. (Loch & Terwiesch, 1999)

Osa muutostöistä on hyödyllisiä projektin näkökulmasta, sillä niiden avulla saavutetaan kustannussäästöjä tai merkittäviä parannuksia uudelle tuotteelle. Loch & Terwiesch (1999) esittävät neljä periaatetta muutostöiden johtamiseen, joiden avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä ja vapauttaa suunnittelun resursseja:

1. Vältä tarpeettomia muutoksia
2. Pienennä muutoksen vaikutusta muihin osiin
3. Toimi etupainoisesti
4. Tehosta muutostyöprosessia

Monet muutosmääräykset eivät ole välttämättömiä muutoksia. Välttämällä näitä muutoksia voidaan säästää suunnittelun resursseja ja kustannuksia. Moni muutosmääräys näyttää aluksi hyödylliseltä ja kustannuksia säästävältä, vaikka lopputulos onkin päinvastainen. Jossain kohtaa projektia on hyvä jäädättää

parannusmuutokset ja sallia vain laadulle aivan välttämättömimmät muutokset. (Loch & Terwiesch, 1999)

On myös hyvä tarkastella muutoksen vaikutusta. Esimerkiksi modulaarisella rakenteella voidaan vähentää lumipalloeefktiä ja säätövaroja jättämällä saadaan rakenteisiin joustavuutta. Kun muutostyö kohdistuu osaan, jolla on merkittäviä rajapintoja toisten kokonaisuuksien kanssa, on selvää, että tehdyllä muutoksella saattaa olla vaikutuksia myös muihin osakokonaisuuksiin (Loch & Terwiesch, 1999). Muutostöissä tulisi myös ottaa huomioon muutoksen vaikutukset pitkän hankinta-ajan komponentteihin (Reidelbach 1991).

Tarjoamalla vastuusuunnittelijalle enemmän aikaa voidaan ennaltaehkäistä merkittävä osa turhista muutostöistä, toimitaan siis etupainoisesti. Koska keskimäärin jokainen suunniteltu osa joudutaan ainakin kerran suunnittelemaan uudelleen, eivät suunnittelijat aina näe tarpeelliseksi tuottaa kaikkea informaatiota muille osapuolille ensimmäiselle kierrokselle. Tarjotulla lisäajalla vastuusuunnittelijoille jää enemmän aikaa tarkastella suunniteltuja osakokonaisuuksia ja siten he voivat korjata syntyneet virheet ennen kuin ne menevät eteenpäin. Esimerkiksi rajapintojen huolellisella tarkastelulla voidaan välttää tarpeettomia muutoksia. Rajapintojen tarkastelulle tarkoitetaan eri kokoonpanojen rajapintojen tarkastelua sekä toiminnallisuudesta aiheutuvia rajapintojen törmäysten tarkastelua. (Loch & Terwiesch, 1999)

Mitä enemmän ylösajoprosessin aikana ilmenee muutostöitä, sitä todennäköisempää on, ettei muutoksia pystytä toteuttamaan suunnitellussa aikataulussa ja budjetissa. Hidas reagoiminen muutostöihin kasvattaa niiden negatiivisia vaikutuksia, koska muutosten implementoinnista tulee haastavampaa ja kalliimpaa (Loch & Terwiesch, 1999). Grossin (2014) esitys tukee tätä teoriaa siitä, miten tärkeää on yrityksen kyky reagoida muutoksiin välittömästi ja mahdollisimman etupainoisesti. Gross myös lisää, että mitä enemmän muutoksia ilmenee ylösajoprosessin alkupuolella, sitä tärkeämpää on yrityksen kyky vastata niihin improvisoiduilla uusilla ratkaisuilla. Keskeisessä roolissa Grossin mukaan on organisaation rakenne, jonka tulee olla vähemmän formaali ja rakenteellinen, jotta improvisoitua käytöstä on mahdollista syntyä.

### **2.3.4 Muutostöiden ennakointi**

Toisenlaisen lähestymisen muutostöiden ongelmaan tarjoa Lean-tuotekehitys. Luvussa 2.2.3 tuotiin jo esille etupainoinen ongelmien ratkaisu, mutta Lean-tuotekehityksessä pyritään etupainoisella suunnittelulla ehkäisemään syntyvät muutostyöt jo ennen kuin ne ovat ilmenneet. Tätä menetelmää kutsutaan Kentou-menetelmäksi. Etupainoisesti siksi,

koska projektin alussa voidaan vaikuttaa eniten uuden tuotteen menestykseen sekä kustannuksiin (Morgan & Liker 2006). Lean-ajattelutavan vieminen suunnitteluun on tapa, jolla ei aina voida radikaalisesti vähentää työn määrää, mutta sen avulla voidaan vähentää epävarmuutta suunnittelussa (Reinertsen & Shaeffer 2005).

Etupainoisessa tuotekehityksessä poikkifunktionaaliset tiimit, jotka on koostettu organisaation kokeneimmista työntekijöistä kokoontuvat yhteen ja pohtivat syvällisesti uuden tuotteen mahdollisuuksia. Nämä tiimit yhdessä ennustavat ja ratkaisevat mahdollisesti myöhemmin syntyviä ongelmia niin tuotesuunnittelussa, laadussa kuin valmistettavuudessa. Täten pystytään ennalta karsimaan haitallista vaihtelua ja varmistamaan seuraavien vaiheiden virheetön eteneminen. Tällä menetelmällä Toyota on kyennyt ennakoimaan arviolta 80% teknisistä ongelmista ja siten merkittävästi vähentämään myöhemmin ilmeneviä muutostöitä. (Morgan & Liker 2006)

### 3. PROSESSIMALLIN KEHITTÄMINEN JA VERTAAMINEN KOHDEPROJEKTIIN

Diplomityön yksi päämääristä oli tuottaa tuotannonkoordinaattorille prosessimalli, joka sisältäisi uustuoteprojektin ylösajon onnistumisen kannalta keskeisimmät tehtävät. Prosessimallilla pyrittiin ratkaisemaan kolme havaittua ongelmaa. Ensimmäinen liittyi projektin aikatauluun. Kohdeprojektin aikana oli havaittu useita työtehtäviä, jotka oli suoritettu liian myöhään tai puutteellisesti. Tämä takia haluttiin selkeä malli, johon kirjattaisiin tarvittavat työtehtävät ja ne upotettaisiin osaksi käytössä olevaa porttimallia.

Toinen merkittävä ongelma olivat ylösajoprosessin aikana syntyvät ylimääräiset kustannukset, jotka ovat osittain seurausta edellä mainituista puutteellisista työtehtävistä. Prosessimallin avulla haluttiin osoittaa, miten kohdeprojektissa oli jäänyt kriittisiä työvaiheita tekemättä, ne oli tehty liian myöhään tai puutteellisesti. Haluttiin osoittaa, kuinka paljon enemmän kustannuksia syntyi ylimenevistä kokoonpanotunneista ensimmäisen vuoden aikana, koska työvaiheita oli tekemättä.

Kolmas merkittävä ongelma, johon prosessimallilla haluttiin vastauksia, oli resurssien osoittaminen. Tällä hetkellä projekteilla on haasteita sitouttaa henkilöitä projektiin, koska ei ole osoittaa vaadittavan resurssin määrää esimerkiksi työtunneissa. Diplomityön aikana ei tulisi laskemaan työtehtävien vaatimia resurssimääriä tarkasti, mutta luotu prosessimalli tulisi tukemaan kyseistä tehtävää jatkossa. Seuraavaksi esitellään diplomityön aikana luotu prosessimalli sekä verrataan kyseistä mallia kohdeprojektiin.

#### 3.1 Prosessimallin kehittäminen

Tuotannonkoordinaattorin prosessimallia lähdettiin rakentamaan kolmen vanhan työlistan pohjalta. Työlistoihin oli kerätty työtehtäviä, joiden suorittaminen kyseisenä ajankohtana on koettu oleelliseksi uustuoteprojektin onnistumisen kannalta. Ensimmäinen vaihe oli yhdistää kyseisten työlistojen sisältö yhtenäiseksi listaksi työtehtävistä. Ajallisena jakona käytettiin porttimallin porttivälejä. Tehtävät jaettiin päätehtäviin (main task) ja alatehtäviin (sub task).

Tätä mallia katselmoitiin suunnittelun ja tuotannon kanssa pienryhmällä kolmessa eri istunnossa. Niiden aikana haluttiin saada selvempi kuva tarvittavista tehtävistä ja niiden ajoittumisesta. Prosessimallista päädyttiin tekemään visuaalinen versio, johon työtehtävät olisi koottu edelleen porttimallin porttiväleille, mutta tehtäville olisi osoitettu

myös suuntaa antava työjärjestys. Liitteenä B on nähtävissä diplomityön aikana kehitetty prosessimalli.

### 3.2 Prosessimallin toteutuminen kohdeprojektissa

Diplomityön aikana kehitettyä prosessimallia haluttiin verrata kohdeprojektin toteutumiseen, jotta voitaisiin tunnistaa hoitamatta jääneet osa-alueet. Etukäteen pystytettiin tunnistamaan, että esiintyneiden ongelmien taustalla ainakin ovat valmistuspaikan vaihdot sekä uusien asentajien liian myöhäinen rekrytointi. Prosessimallin vertaamisella kohdeprojektiin haluttiin konkreettisesti osoittaa, mitkä tehtävät olivat jääneet tekemättä. Tehtävät jaettiin seuraavasti:

- Vihreä = tehtävä on suoritettu ajallaan ja riittävällä tarkkuudella
- Keltainen = tehtävä on suoritettu osittain ajallaan, mutta sen sisällössä on puutteita
- Punainen = tehtävää ei ole suoritettu ollenkaan tai sen suoritus on merkittävästi puutteellinen tai se on suoritettu projektin näkökulmasta liian myöhään

Liitteenä C on nähtävissä kohdeprojektin aikana toteutuneiden tehtävien värikoodaus yllä esitettyyn tapaan. Tekemättömistä ja puutteellisesti tehdyistä tehtävistä pyrittiin tunnistamaan viisi merkittävintä osa-aluetta, missä on havaittu tekemättömiä tehtäviä. Liitteenä D on nähtävissä kooste tekemättömistä tehtävistä jaoteltuna tunnistettujen otsikoiden alle. Nämä otsikot ovat seuraavat:

1. Valmistuspaikka ei ole ollut tiedossa
2. Alussa asioita jäänyt tekemättä, koska tuotannon projektitiimiä ei ole nimetty eikä siten resursoitu
3. Osaamisen leviäminen epäonnistunut
4. Moduulien aito kilpailutus jäänyt tekemättä
5. Aputyövälineiden tarve tunnistettu vasta sarjatuotannon alussa

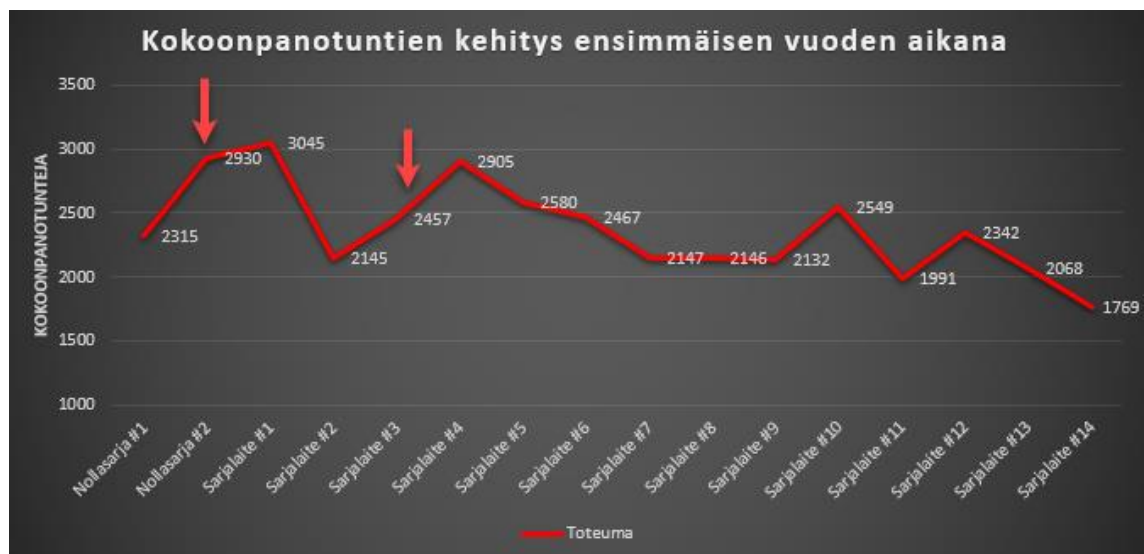
Yllä esitetyistä osa-alueista haluttiin johtaa kohdeprojektille arvio siitä, kuinka paljon nämä tekemättömät tehtävät ovat aiheuttaneet projektille ylimääräisiä kustannuksia ensimmäisen vuoden aikana. Tarkastelusta jätettiin pois kohta neljä, koska sillä ei nähty olevan suoraa vaikutusta kokoonpanotuntien kehitykseen ja siten suoraa yhteyttä diplomityön aiheeseen. Moduulien aidolla kilpailutuksella olisi kuitenkin ollut vaikutusta laitteen kokonaiskustannuksiin. Lisäksi kohdan viisi vaikutus kokoonpanotunteihin on nähtävissä esitetyissä esimerkeissä, mutta käytössä olevasta datasta on haastavaa

erotella sen yksittäistä vaikutusta. Apuvälineiden puuttumisen tuntivaikutus on myös huomattavasti pienempi verrattuna kohtien 1-3 vaikutuksiin. Seuraavaksi esitellään kohtien 1-3 tekemättömien tehtävien seurauksia ja haetaan kuvitteellisten esimerkkien kautta, miten projektin ylösajo olisi voinut tapahtua ja kuinka paljon olisi voitu siten säästää ylimenevien kokoonpanotuntien kustannuksissa.

### 3.2.1 Valmistuspaikka ei ole ollut tiedossa

Yksi merkittävimmistä kohdeprojektin ylösajoprosessin tehottomuuden tekijöistä oli tuotantopaikan myöhäinen lukkoon lyöminen. Laitetta valmistettiin yhteensä kolmessa eri tuotantopaikassa. Ensin proto ja nollasarjan ensimmäinen laite valmistettiin protopajalla, minkä jälkeen nollasarjan toinen ja sarjatuotannon ensimmäinen ja toinen laite valmisteettiin Myllypuron tiloissa, kunnes sarjatuotanto siirrettiin täysin uusiin tiloihin.

Kuvassa 11 on nähtävissä valmistuspaikan vaihdot toteutuneiden tuntien kehityksessä. Valmistuspaikan vaihdot on osoitettu kuvaan nuolilla. Siirtojen kohdalla kokoonpanotunnit kasvavat merkittävästi. Lisäksi viimeinen siirto on tehty tiloihin, joissa tuotantoinfra on rakennettu tyhjästä. Vaikutus on nähtävissä siinä, että toisen siirron jälkeen tunnit lähtevät hitaammin kehittymään kuin ensimmäisen siirron yhteydessä.



**Kuva 11.** Kokoonpanotuntien kehitys ensimmäisen vuoden aikana.

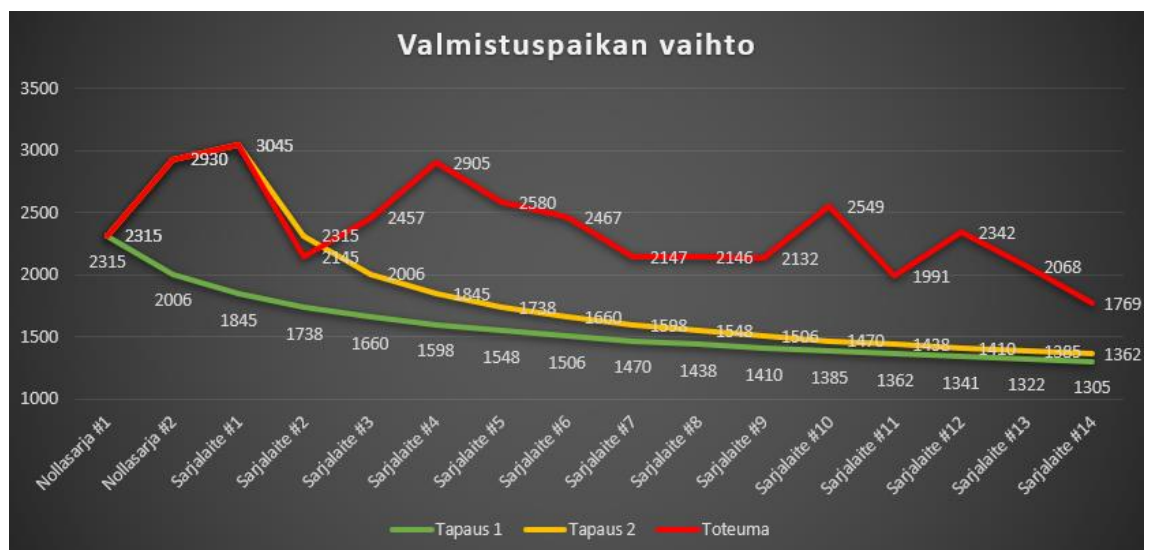
Valmistuspaikan siirtojen vaikutusta tuntikehitykseen lähdettiin tutkimaan hahmottelemalla toteutunutta oppimista siirtojen jälkeen. Toteutuneista tunneista tutkittiin oppimiskäyrää, jonka avulla voitaisiin hahmottaa, miten tunnit olisivat käyttäytyneet ilman tuotannon siirtoa uusiin tiloihin. Jotta tunneissa olisi mahdollisimman vähän siirroista aiheutunutta häiriötä, valittiin tarkasteltavaksi sarjalaitteen neljäs laite ja sitä seuraavat laitteet aina 14. laitteeseen asti. Tuloksissa on kuitenkin huomioitava, että

tapahtunutta oppimista tarkastellaan hyvin suppeasta otannasta ja tarkastellut tunnit eivät ole puhtaasti noudattaneet oppimiskäyrän periaatetta. Kuvasta 11 on nähtävissä, että sarjalaitteilla 10 ja 12 tunnit todellisuudessa kasvoivat.

Luvussa 2.3.1 esiteltiin oppimiskäyrän kaava. Tätä kaavaa (1) käyttämällä pystyttiin määrittämään sarjalaitteiden 4-14 aikana tapahtunut oppiminen.

$$1795 = 2905 \times 11^{-b}$$

Tästä saadaan ratkaistua  $b$ :n arvoksi 0,2068, mikä on sarjalaitteiden 4-14 oppimiskerroin. Tämän oppimiskertoimen avulla on laskettu kuvan 12 Tapaus 1 ja 2 käyttäen kaavaa (1). Tapaus 1 olettaa, että proton jälkeen ei vaihdettaisikaan valmistuspaikkaa ollenkaan, ja Tapaus 2, että toisen sarjalaitteen jälkeen ei vaihdettaisi valmistuspaikkaa, mutta ensimmäinen valmistuspaikan vaihto olisi toteutunut. Tapauksissa 1 ja 2 on siis käytetty kohdeprojektissa sarjalaitteilla 4-14 toteutunutta oppimiskäyrää. Se on vain tässä esimerkissä siirretty alkavaksi toteutuneiden siirtojen yhteyteen. Tämän avulla saadaan hahmotelma, kuinka paljon valmistuspaikan siirroilla on ollut vaikutusta kokoonpanotuntien kehittymiseen. Kuvassa 12 on nähtävissä näiden kuvitteellisten tapauksen tuntien kehitys verrattuna toteutuneeseen.



**Kuva 12.** Valmistuspaikkaa vaihdon vaikutukset sekä tapaukset miten tunnit olisivat voineet kehittyä ilman tuotannon siirtoa.

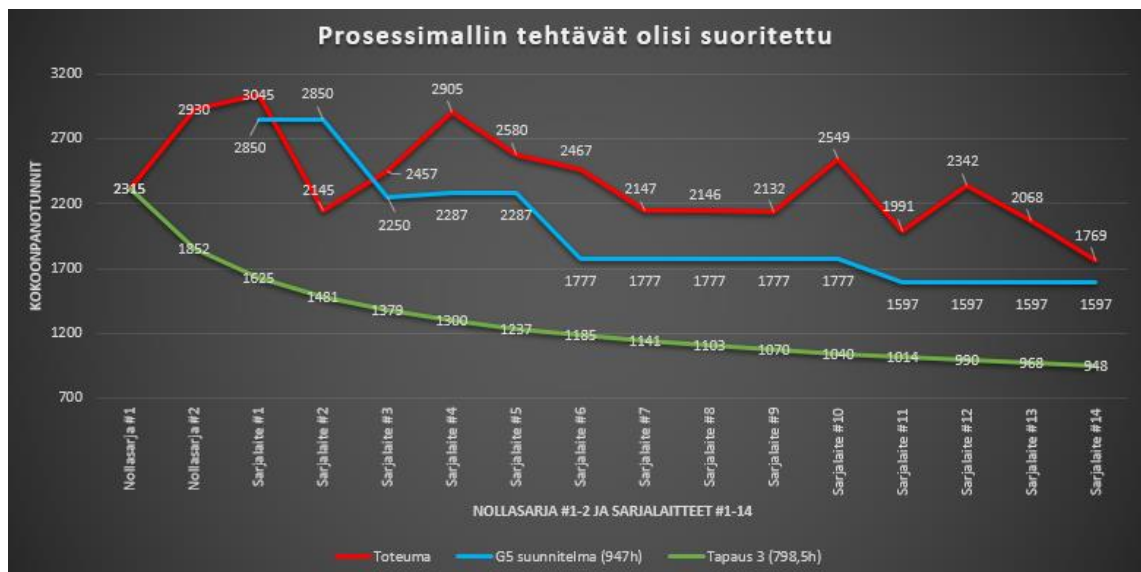
Laskemalla Tapauksien 1 ja 2 ylimenevät kokoonpanotunnit ja vertaamalla niitä toteuman ylimenneisiin kokoonpanotunteihin voidaan todeta, että Tapauksen 2 avulla ylimenevien kokoonpanotuntien määrä olisi ollut 37 prosenttia vähemmän, jos valmistuspaikkaa ei olisi vaihdettu toiseen kertaan. Tapauksen 1 avulla olisi ollut 56 prosenttia vähemmän ylimeneviä kokoonpanotunteja tarkastelujakson aikana mikäli valmistuspaikkaa ei olisi vaihdettu kummassakaan kohdassa.



### 3.2.2 Projektin alussa paljon tekemättömiä tehtäviä

Liitteen C yleisvaikutelmaa tarkastellessa voidaan havaita, että projektin alkupäässä on hyvin paljon tehtäviä, jotka ovat punaisella tai keltaisella pohjalla. Tekemättömiä tehtäviä on varsinkin G1-G3 välillä. On siis hyvin paljon tekemättömiä töitä, joilla on ollut vaikutusta niin tuotannon ylösajoon kuin itse projektin tuotteen kannattavuuden arviointiin. Tässä kohtaa tarkasteluun otetaan mukaan kohdeprojektin tavoitekokoonpanotunnit eli se tuntimäärä, johon on tarkoitus päästä sarjatuotannossa alun häiriöiden jälkeen.

Projektin G2-portilla määrittämä tavoitetuntimäärä kasvoi G5-portilla 45,7 prosenttia eli 650 tunnista 947 tuntiin. Arvioitiin, että mikäli prosessimallissa esitetyt tehtävät olisi hoidettu ajallaan, olisi voitu hillitä tavoitetuntimäärän kasvua 50 prosentilla. Tällöin G5-portilla kokoonpanotuntien tavoitetuntimäärä olisi vain 22,8 prosenttia suurempi, kuin G2-portilla oli arvioitu eli tavoitetunnit olisivat 798,5 tuntia. Tästä skenaariosta haluttiin esittää kustannusarvio ylimenevien kokoonpanotuntien osalta. Kuvaan 13 on koostettu todellinen tuntitoteuma, G5-portilla suunniteltu tuntikehitys, jolla olisi pitänyt päästä 947 tunnin tavoitteeseen sekä edellä mainitun skenaarion mahdollinen tuntikehitys, Tapaus 3, jossa tavoitetunniksi on määritelty 798,5 tuntia.



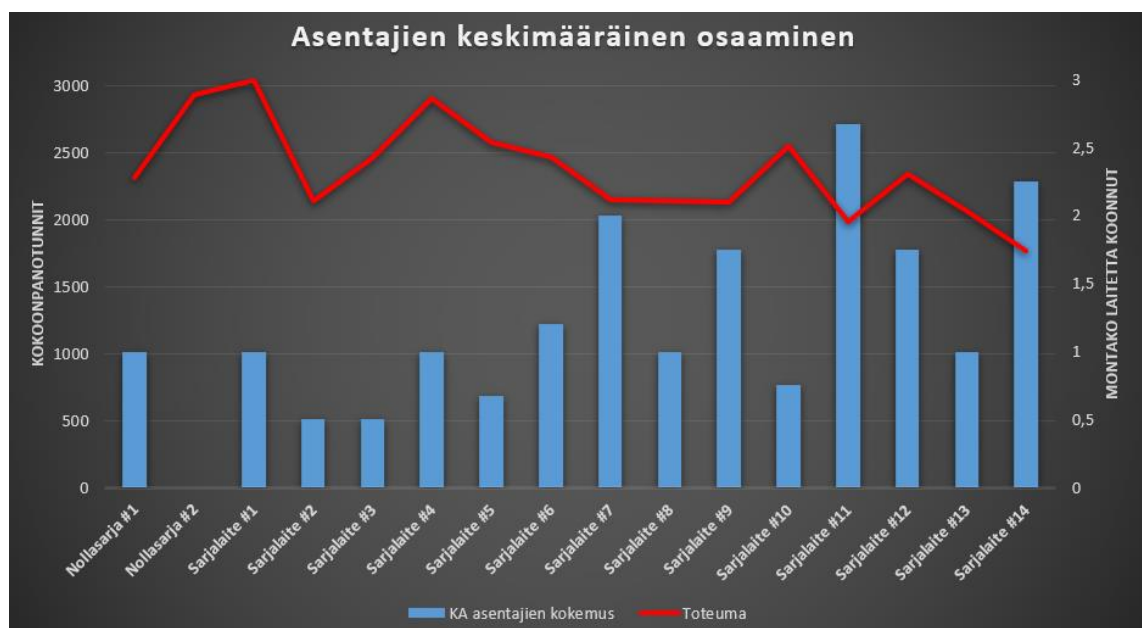
**Kuva 13.** Arvio tuntien kehittymisestä, jos prosessimallin tehtävät olisi hoidettu ajallaan.

Tässä skenaariossa, Tapaus 3, ei ole huomioitu millaiset vaikutukset tuntikehitykselle ovat aiheuttaneet todellisuudessa tapahtuneet tuotantopaikan vaihdot, oppimisen leviämisen epäonnistuminen sekä alussa tarvittavien työvälineiden puuttuminen. Nämä on rajattu tästä esimerkistä pois siitä syystä, että mikäli prosessimallin työtehtävät olisi hoidettu ajallaan, olisi todennäköisesti säästyty edellä mainituilta ongelmilta.

Kuvan 13 vihreä käyrä on toteutettu laskemalla oppiminen 80 prosentin tahdilla ja käyttämällä kaavaa (1). Argote & Epple (1990) mukaan 80 prosentin oppiminen on yleisin oppimisen kertoimena käytetty luku. Aloitustunneiksi on syötetty nollasarjan ensimmäisen laitteen toteutuneet tunnit ja lopulliseksi tuntitavoitteeksi 798,5 tuntia. Kuvassa 12 tarkastellaan kehitystä vain sarjalaitte 14. asti, johon asti on tarjolla toteuman vertailutunteja. Yllä esitetyn esimerkin avulla saataisiin jopa 65,5 prosenttia kustannussäästöä ylimenevistä kokoonpanotunneista.

### 3.2.3 Osaamisen leviäminen epäonnistunut

Toinen hyvin merkittävä ylösajoprosessin tehottomuuden tekijä oli osaamisen epäonnistunut leviäminen. Protoasentajat asensivat protolaitteen lisäksi nollasarjan ensimmäisen laitteen. Nollasarjan toiselle laitteelle tuli kuitenkin uudet asentajat, jolloin protoasentajien kartuttama osaaminen katosi lähes täysin. Lisäksi resurssipulan takia kohdeprojektin kokoonpanoon palkattiin täysin uusia asentajia. Kuvassa 14 esitetään tuntitoteuman rinnalla laitetta asentaneiden asentajien keskimääräinen kokemus kohdeprojektin laitteen asentamisesta eli kuinka monta kertaa laitteen asentajat ovat keskimääräisesti koonneet laitteen aikaisemmin.



**Kuva 14.** Asentajien keskimääräinen kokemus laitteesta ja kokoonpanon laitteen tuntitoteuma.

Kuvasta nähdään, että varsinkin alussa asentajien keskimääräinen kokemus laitteesta on hyvin alhainen. Tämä kertoo siitä, että laitteella on ollut enemmän uusia asentajia kuin kokeneita. Nähdään myös, että kun asentajien keskimääräinen kokemus on enemmän kuin 1,5 koottua laitetta, laitteen tunnit pääsääntöisesti laskevat. Datan määrä

on pieni ja sisältää häiriöitä monista eri tekijöistä, joten selkeiden ja suorien johtopäätösten tekeminen ei välttämättä ole relevanttia.

## 4. JUURISYYSANALYYSI MUUTOSTÖISTÄ

Juurisyyanalyysi suoritettiin yrityksessä vähän aikaa sitten päättyneeseen uustuoteprojektiin. Kohdeprojektista oli kerätty Excel-taulukkoon tuotannon palautteita muutostöistä liittyen uuden tuotteen kolmen ensimmäisen laitteen kokoonpanoon. Laitteet olivat järjestyksessään prototyyppi, nollasarjan ensimmäisen ja nollasarjan toinen laite. Protoa ja nollasarjan ensimmäistä laitetta olivat kokoonpanemassa samat asentajat, niin kutsutut protoasentajat, kun taas nollasarjan toisen laitteen kokoonpanivat asentajat eri tuotantolinjalta.

Tavoite oli saattaa uusi laite valmiiksi sarjatuotantoon protoasentajien avulla. Tällöin nollasarjan toinen laite olisi ollut sarjatuotantolinjan asentajille kokoonpanomielessä harjoituslaite. Oletus oli, että palautteet proton ja nollasarjan ensimmäisen laitteen osalta keskittyisivät uuden laitteen parantamiseen ja palautteet nollasarjan toiselta laitteelta sisältäisivät vain asennettavuuteen liittyviä palautteita.

### 4.1 Hypoteesit juurisyyanalyysin tuloksista

Juurisyyanalyysiä aloitettaessa määritettiin tutkimukselle kahdeksan hypoteesia eli olettamusta juurisyistä. Juurisyyanalyysillä pyrittiin vastaamaan esitettyjen hypoteesien todenmukaisuuteen. Alla on listattuna esitetty hypoteesit juurisyyanalyysille:

1. Alihankkijan kyvyt eivät riitä tuottamaan uuden laitteen osia
2. Tietoa ei ole tuotettu riittävästi ylösajoprosessiin
3. Tuotannon tietämys ei ole riittävällä tasolla
4. Ongelmaa ei ole kyetty korjaamaan prototyypin kokoonpanemisen aikana ja porttimalli on päästänyt puutteellisen laitteen läpi
5. Tieto ei päädy sinne missä sitä tarvitaan
6. Projektissa on tapahtunut virhe, esimerkiksi asiakastarpeet on määritetty liian myöhään, mistä johtuen syntyy tarve muutostyölle
7. Projektin aikataulu ei pysty huomioimaan, milloin osien on oltava valmiina
8. Satunnainen prosessiin liittymätön tapahtuma

Hypoteeseja valittaessa tiedostettiin, että nämä kahdeksan kohtaa eivät välttämättä ole ainoita mahdollisia juurisyitä. Arvioitiin kuitenkin, että suurin osa juurisyistä johtuu suoraan tai epäsuorasti esitetyistä hypoteeseista.

## 4.2 Juurisyyanalyysin toteutus

Kohdeprojektin muutostöistä oli kertynyt noin 1300 riviä palautetta Exceliin. Analyysin ulkopuolelle jätettiin ohjelmistoihin liittyvät ja turhiksi luokitellut palautteet, jotka eivät sisältäneet juurisyyanalyysille oleellista informaatiota. Juurisyyanalyysiin otettiin käsiteltäväksi 852 palautetta.

Juurisyyanalyysin tutkimusmenetelmiksi valikoitui kaksi Leanin työkalua: 5 Miksi ja Syy-seuraus -kaavio eli kalanruotokaavio, jotka on esitelty aikaisemmin luvussa 2.1.5. Menetelmien toteutusta muokattiin vastaamaan paremmin tutkimuskohteen analysointiin. Koska analysoitavaa materiaalia oli paljon, päätettiin samantyyppiset palautteet yhdistää ja suorittaa tarkempi analyysi vain kerran kyseiselle palautteelle. Tarkemmassa analyysissä juurisyitä lähdettiin hakemaan 5 Miksi:n avulla kysymällä miksi niin kauan, kunnes juurisyys oli tunnistettu.

Juurisyyanalyysia aloittaessa oli asetettu tietyt kategoriat, joihin arveltiin ongelmien kuuluvan. Nämä yläkategoriat olivat seuraavat:

1. Suunnitteluvirhe
2. Alihankinnan valmistusvirhe
3. Asennusvirhe
4. Hankinnan virhe
5. Virheelliset lähtöarvot
6. Rakennekäsittelyn virhe
7. Oston virhe
8. Mielipide
9. Sovittu tiedonanto
10. Logistiikan virhe

Nämä ylätasen kategoriat muodostivat lopulta juurisyyanalyysin kalanruotokaavion ongelmat, jotka sijoitettiin nuolen oikeaan päähän. Kalanruotokaavio jakautuu yhteen tai useampaan pääsyyhyn eli ruotoon. Näitä ruotoja kutsutaan myös pääkategorioiksi. Taulukossa 3 on esiteltynä työssä käytetyt pääkategoriat ja niiden selitykset.

Taulukko 3. *Juurisyyanalyysissä käytetyt pääkategoriat ja niiden määritelmät*

<b>Ihmiset</b>	Ongelmat, jotka johtuvat yksilön mieltymyksistä, työskentelytavoista ja inhimillisyydestä
<b>Järjestelmät</b>	Järjestelmien asettamien rajoitteiden ja ominaisuuksien aiheuttamat ongelmat
<b>Menetelmät</b>	Yrityksessä käytössä olevien toimintatapojen aiheuttamat ongelmat
<b>Muutos</b>	Osassa tai osakokonaisuudessa on virhe tai sitä halutaan parantaa
<b>Seuranta</b>	Varsinaista ongelmaa ei ole, mutta tilannetta seurataan tai resurssien puutteen takia tarkka mitoitustapahtuu laitteella
<b>Tarkastelu</b>	Ongelma on lähtöisin siitä, ettei malleja tarkastella riittävästi ja siten havaita ongelmia ajoissa
<b>Ympäristö</b>	Ongelma on lähtöisin projektista riippumattomista asioista
<b>Viestintä</b>	Tieto ei ole päätenyt sinne missä sitä tarvitaan

Pääkategorioiden alle piirtyivät 5 Miksi -työkalulla löydetty juurisyyt. Analyysi toteutettiin pienryhmissä, joihin osallistui kolme suunnittelupäällikköä sekä viisi suunnittelijaa. Juurisyitä pohdittiin yhteensä 14 istunnon aikana. Seuraavassa kappaleessa esitellään juurisyyanalyysin perusteella muodostetut kalanruotokaaviot muutostöiden juurisyyistä.

### 4.3 Kalanruotokaaviot

Muutostöiden palautteissa oli nähtävissä selkeä jakautuminen kahteen yläkategoriaan: sovittu tiedonanto (45,4%) ja suunnitteluvirhe (22,1%). Näiden jälkeen merkittävimmät yläkategoriat olivat mielipiteet (12,2%), alihankinnan valmistusvirhe (11,5%) ja virheelliset lähtöarvot (5,8%). Yläkategoriat, joihin vähiten kertyi palautteita, olivat asennusvirhe, logistiikan virhe, hankinnan virhe ja rakennekäsittelyn virhe. Näihin kertyi palautetta yhteensä noin 3 %. Yläkategoriaan oston virhe ei sijoittunut yksikään palaute.

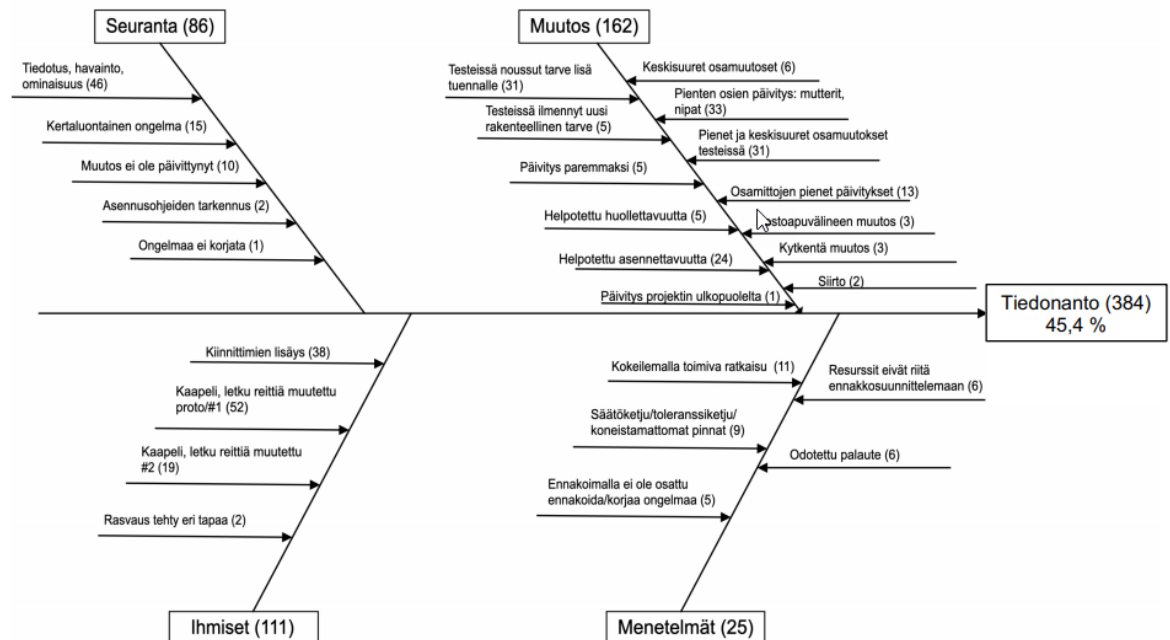
Tuloksia tulkittaessa tulee huomioida, että palautteiden merkittävyys projektin kustannusten, resurssien ja asiakasarvon tasolla eivät ole suoraan saman arvoisia. Esimerkiksi mutterin koon päivitys ei ole verrattavissa suuren komponentin

mitoitusvirheeseen. Tuloksia tulee arvioida tapauskohtaisesti juurisyyn kautta, eikä vain yläkategorioiden lukuja katselemalla.

### 4.3.1 Sovittu tiedonanto

Ensimmäisenä esitellään sovittu tiedonanto. Sovitut tiedonannot ovat suurin muutostöiden aiheuttaja, yhteensä 384 palautetta kuului tähän yläkategoriaan. Sovittu tiedonanto käsitti palautteita, joiden suhteen oli toimintatavoissa sovittu, että kyseisistä asioista annetaan palautetta. Joidenkin asioiden valmiiksi suunnittelemiseen ei ole tarkoituksenmukaista käyttää paljoa aikaa suunnittelupöydällä vaan on nähty paremmaksi käyttää hyväksi käytännön toteutusta; tarkat mitat ja paikat katsotaan laitteella. Tuloksista on kuitenkin havaittavissa, että 45,4% tutkimuksen palautteista kuului näihin sovittuihin tiedonantoihin. Perinteisesti uustuoteprojektin muutostyöt keskittyvät korjaamaan luotuja virheitä ja parantelemaan luotua tuotetta (Terwiesch & Loch, 1999).

Tiedonannon juurisyys voidaan jakaa neljään eri pääkategoriaan, jotka ovat muutos, ihmiset, seuranta ja menetelmät. Kuvassa 15 on esiteltynä tarkemmin sovittu tiedonannon juurisyys ja niiden esiintyvyys kappalemäärissä.



**Kuva 15.** Sovittu tiedonannon juurisyys esitettynä kalanruotokaaviolla

Sovittu tiedonannon suurin pääkategoria eli ruoto on Muutos. Tämä sisältää enimmäkseen palautteita, joilla pyritään parantelemaan laitetta kuten esimerkiksi helpottamaan asennettavuutta. Palautteiden kappalemäärä saa kuitenkin

kyseenalaistamaan onko näitä laitteella tapahtuvia parannuksia liikaa. Yksittäisinä muutostöinä suurin osa näistä parannuksista ei ole suuri muutos laitteella ja ovat siten olleet siinä hetkessä nopeita ja helppoja tehdä. Tulisi kuitenkin huomioida, että pienet päivitykset vievät kokonaisuutena huomattavan osan resursseja. Jokainen muutos sitoo resursseja ja siten aiheuttaa kustannuksia projektille, puhumattakaan muutostöiden negatiivisesta vaikutuksesta ylösajoprosessille. Kuten luvussa 2.3.3 on todettu, muutostyön kustannus kasvaa sitä mukaan suuremmaksi, mitä myöhemmin se tehdään.

Toiseksi suurin pääkategoria on Ihmiset. Se sisältää palautteita letkujen ja sähkökaapeleiden reitittämisestä, kiinnittimien lisäämisestä ja rasvauksesta. Letkujen ja sähkökaapeleiden reitityksiä ei ole mallinnettu ja siten määritetty etukäteen muuta kuin hyvin yleisellä tasolla. Jokainen asentaja tekee reitistä oman tulkintansa ja kirjaa siitä johtuvat mittamuutokset sekä lisää valitsemalleen reitille kiinnittimiä letkuille ja kaapeleille. Osa palautteista on merkityksellisiä, sillä reittiä ei ole mallinnettu ja rakenteellisia muutoksia tapahtuu vielä paljon protossa, mutta suuri osa reittimuutoksista ei ollut näillä perusteilla perusteltavissa. Esimerkiksi sähköreitityksiä muutettiin proton aikana 12 palautteen verran, nollasarjan ensimmäisellä laitteella 29 kertaa ja nollasarjan toisella laitteella 16 kertaa. Nollasarjan ensimmäisen laitteen palautteista pystyttiin 11 palautetta tunnistamaan sellaisiksi, jotka olisi voinut jo proton aikana päättää.

Kolmanneksi suurin pääkategoria on Seuranta, joka ei sisällä juurikaan oikeita ongelmia projektin näkökulmasta. Kertaluontaiset ongelmien syyt eivät ole juuri merkityksellisiä tässä kohtaa, koska ne ovat poistuneet prosessin edetessä. Muutostöiden jääminen päivittymättä on taas vahvasti sidoksissa projektin tiukkaan aikatauluun. Huomion arvoinen kohta on ”tiedotus, havainto ja ominaisuus”. Siihen on kirjattu palautteita asioista, jotka eivät olleet varsinaisia ongelmia. Näitä ovat esimerkiksi kirjaus ja havainnot laitteen ominaisuuksista, joita on tulkittu ongelmiksi. Uuden laitteen toiminnollisuuksista on tärkeä saada havaintoja, mutta palautteita tarkastella tulisi arvioida siitä lähtökohdasta, onko tuotannon asentajilla riittävä tietämys uudesta laitteesta. Ominaisuuden kirjaaminen palautteisiin ongelmana voi johtaa siihen, että resursseja hukataan korjaamaan ongelmaa, jota ei alun perin ollutkaan.

Neljäs pääkategoria on Menetelmät, jossa ongelmat aiheutuvat käytetystä menetelmästä. Esimerkiksi toimivan ratkaisun löytäminen kokeilemalla aiheuttaa useamman iteraatiokierroksen, mikä ei ole uustuoteprojektissa toivottavaa. Näiden palautteiden määrä ei ollut huolestuttavalla tasolla, mutta nopeatahtisessa tuotekehitysprojehtissa tulisi maksimoida suunnittelun etupainoisuus.

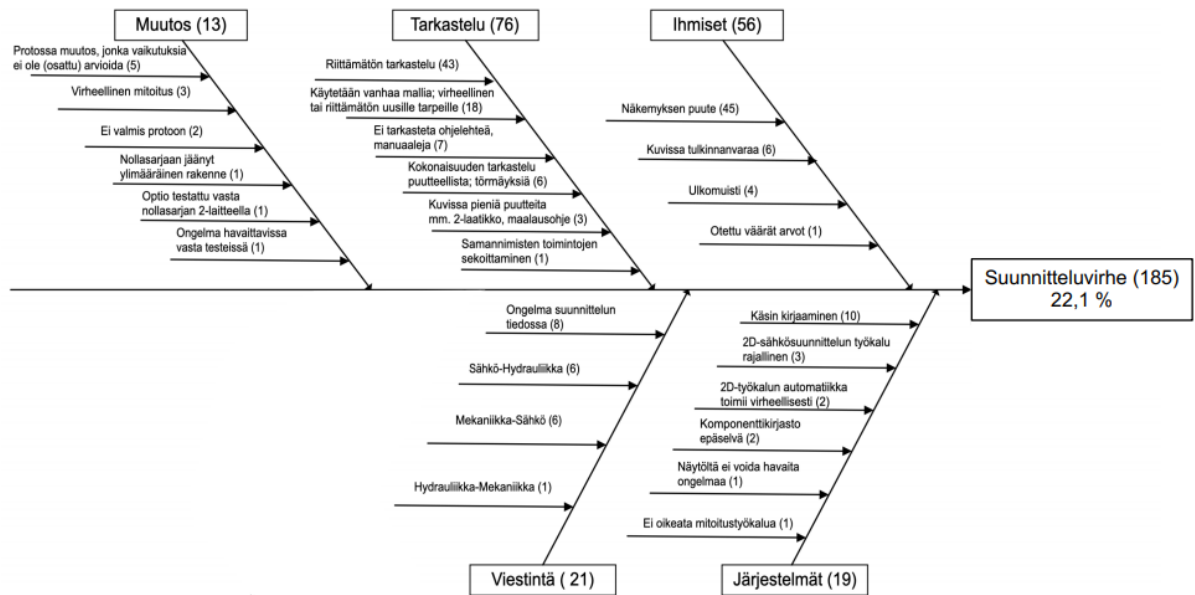


Edellä mainitut kohdat ovat kaikki sellaisia, joihin on mahdollista vaikuttaa. Kuvan 15 kalanruotokaavio sisältää kuitenkin neljä kohtaa, joihin ei voida vaikuttaa tai niihin vaikuttaminen on haastavaa. Nämä kohdat esitellään seuraavaksi.

1. Sääto- ja toleranssiketjun arvioiminen on joissakin tapauksissa niin työlästä, että sitä on lähes mahdoton osata arvioida etukäteen. Myöskin koneistamattomat pinnat aiheuttavat mittojen pieniä heittoja, joiden arvioiminen etukäteen on haastavaa.
2. Resurssien riittämättömyys ennakkosuunnitteluun sekä
3. Epäonnistuminen ongelman ennakointiin kertovat resurssipulasta. Määrällisesti näihin kohdistuvia palautteita on kuitenkin vähän, joten on hyvä pohtia, saavutetaanko resursseja lisäämällä todella hyödyllistä ja arvoa tuottavaa toimintaa.
4. Testeissä noussut tarve lisätuennalle eli kiinnitysten vahvistamiselle. Tämä on siitä haastava ennakoida, koska vasta testeissä uusi laite todella pääsee rakenteellisesti testiin.

#### **4.3.2 Suunnitteluvirhe**

Toiseksi suurin muutostöiden aiheuttaja on suunnitteluvirhe. 22,1 prosenttia kaikista palautteista johtui suunnitteluvirheestä. Suunnitteluvirhe voi tarkoittaa virheellisesti suunniteltuja osia, puutteellisia tai virheellisiä valmistuskuvia tai esimerkiksi virheellistä mitoitus. Suunnitteluvirheen juurisyyt ovat jakautuneet kuuteen pääkategoriaan eli ruotoon. Nämä pääkategoriat ovat Tarkastelu, Ihmiset, Viestintä, Järjestelmät, Muutos ja Ympäristö. Kuvassa 16 on esiteltynä tarkemmin suunnitteluvirheen juurisyyt ja niiden esiintyvyys kappalemäärissä.



**Kuva 16.** Suunnitteluvirheiden juurisyyt esitettyinä kalanruotokaaviolla

Suunnitteluvirheen suurin pääkategoria on Tarkastelu. Huomattava määrä, noin 10 % kaikista palautteista, liittyi puutteelliseen tarkasteluun. Näiden palautteiden ongelmat olisivat olleet havaittavissa jo suunnittelupöydällä, sillä palautteet sisälsivät muun muassa 3D-malleissa nähtävissä olevia pintojen törmäystä sekä puutteellisia malleja ja valmistuskuvia. Myös merkittävä virheiden aiheuttaja on vanhojen mallien käyttö sellaisenaan. Vanhat mallit saattavat sisältää jo valmiiksi virheitä ja niiden mitoitus voi olla riittämätön uuden laitteen tarpeille.

Toiseksi suurin pääkategoria on Ihmiset ja sen merkittävin juurisyy on näkemyksen puute. Sillä tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, ettei suunnittelijalla ole ollut kyvykkyyttä suunnitella kyseistä osaa tai kokonaisuutta oikein. Kuvien tulkinnanvaraisuuden ja ulkomuistista tekemisen merkitys oli vähäisempi tässä pääkategoriassa. Valmistuskuvissa voi siis olla tulkinnanvaraisia ohjeita tai ulkomuistista lisättyjä virheellisiä reikätyyppejä, jolloin alivalmistaja voi valmistaa osan väärin.

Kolmanneksi suurin pääkategoria suunnitteluvirheillä on Viestintä. Puutteet viestinnässä johtavat siihen, ettei tarvittu tieto päädy sinne missä sitä tarvitaan. Turhia palautteita aiheuttaa myös se, että ongelma ei ole tiedossa kaikilla osapuolilla. Informaatiovirran katkeamisella on vain negatiivisia vaikutuksia tuotekehitysprojektille ja ylösajoprosessin sujuvalle onnistumiselle. Palautteista on nähtävissä, että kohdeprojektissa suunnitteluosastoista sähkösuunnittelulla on ollut eniten vaikeuksia ylläpitää sujuvaa viestintää muihin suunnitteluosastoihin.

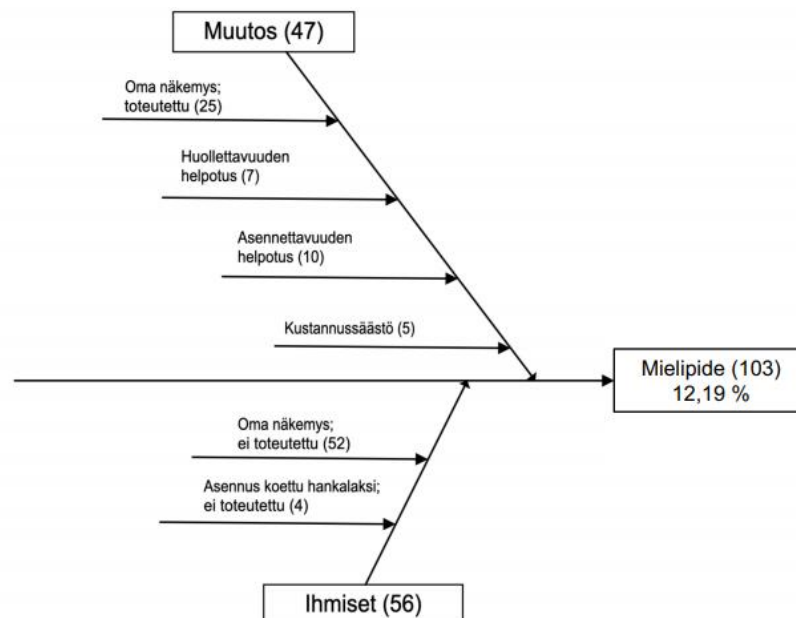
Järjestelmät ovat neljänneksi suurin pääkategoria suunnitteluvirheissä. Käytettävissä olevat järjestelmät ja ohjelmistot asettavat tietyt rajoitteet projektille. Varsinkin

sähkösuunnittelun järjestelmissä on paljon ongelmia. Paljon kirjataan asioita käsin, sillä järjestelmät eivät synkronoidu keskenään ja jo pelkästään 2D-työkalun käyttäminen asettaa sähkösuunnittelulle omat rajoituksensa. Ongelmia aiheuttaa myös piirustuksien 2D-työkalun automatiikka, joka automaattisesti ehdottaa tavallista reikää piirustuksiin. Nämä reiät tulee korjata oikeiksi käsin kirjaamalla.

Viidenneksi suurin pääkategoria on Muutos. Tästä pääkategoriasta merkittävin juurisyy suunnitteluvirheille on proton aikaiset muutokset, joiden vaikutuksia ei ole osattu arvioida. Tällöin porttimallista on päässyt läpi virheellisiä osia ja kokonaisuuksia. Suunnitteluvirheille on tunnistettavissa kaksi haastavaa juurisyytä, joihin on vaikeaa vaikuttaa etukäteen. Nämä ovat ongelmat, joita ei ole voinut havaita näytöltä eli suunnitteluvaiheessa ja ongelmat, jotka nousevat esille vasta testauksen aikana. Nämä ongelmat liittyvät uuden kokeiluun ja tästä syystä uusia laitteita testataankin.

### 4.3.3 Mielipide

Kolmanneksi suurin palautteiden aiheuttaja oli mielipiteet. Muutostöiden palautteita kirjaavat tuotannon asentajat. On siis luonnollista, että osa palautteista on asentajien omia näkemyksiä. Kaikista palautteista 12,2 % luokiteltiin asentajien omiksi mielipiteiksi laitteen osien tai kokonaisuuksien rakenteesta, niiden asentamisesta tai huollettavuudesta. Kuvassa 17 on esitelty mielipiteiden juurisyytä. Juurisyyt jakautuivat vain kahteen pääkategoriaan eli ruotoon: Ihmiset ja Muutos.



**Kuva 17.** Mielipiteiden juurisyyt esitettynä kalanruotokaaviolla

Mielipiteiden suurin pääkategoria oli Ihmiset. Nämä palautteet luokiteltiin asentajien omiksi näkemyksiksi laitteen osista tai niiden asennus on koettu hankalaksi. Näitä

muutospyyntöjä ei ole toteutettu, joten niiden käsittely on kuormittanut turhaan muutostyöpalautteiden käsittelemistä. Toisaalta luvussa 2.3.1 todettiin, että uuden tuotteen asentajien oma havainnointi ja mahdollisuus päästä muokkaamaan tuotetta ovat hyvin tärkeitä oppimisprosessille. Muutokset-pääkategoriaan on sijoitettu toteutuneet asentajien omat näkemykset osista, huollettavuudesta, asentamisesta ja kustannussäästöistä. Osa näistä palautteista sisälsi hyviä huomioita laitteen parantamisesta ja ovat siten tärkeitä projektille. Mielipiteisiin tarvittaisiin kuitenkin suodatus, jotta muutostyöprosessia ei kuormitettaisi turhaan.

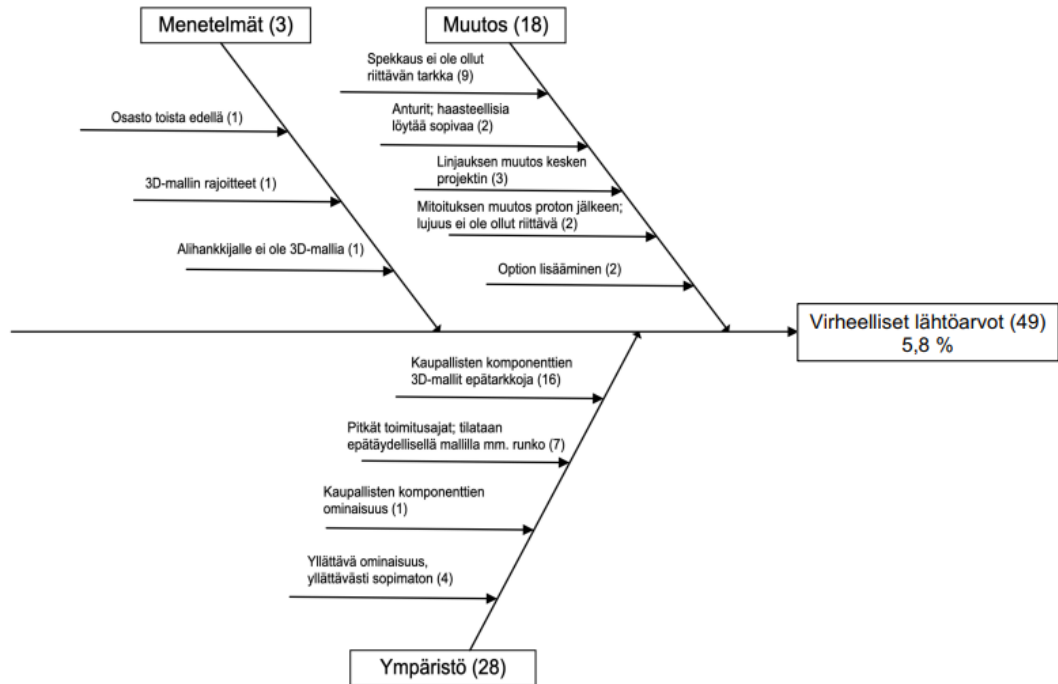
#### **4.3.4 Alihankkijan valmistusvirhe**

Alihankkijan valmistusvirhe oli neljänneksi suurin muutostöiden aiheuttaja. Yhteensä 98 muutostyötä eli 11,5% oli lähtöisin alihankkijan valmistusvirheestä. Nämä palautteet jakautuivat siten, että proton aikana kirjattiin 35 palautetta alihankkijan valmistusvirheistä, nollasarjan ensimmäisellä laitteella 31 ja nollasarjan toisella laitteella 27 palautetta. Näiden lisäksi oli muutama alihankkijan päässä tapahtunut suunnitteluvirhe ja virheellisten valmistuskuvien hyväksyminen tuotantoon.

Alihankkijan valmistusvirheet ovat kuitenkin alihankkijan päässä tapahtuvista juurisista lähtöisin ja tämä työ keskittyy tutkimaan juurisyytä, joihin voidaan kohdeyrityksessä vaikuttaa. Tästä syystä voidaan todeta, että on havaittavissa vaikeuksia alihankkijan päässä tuottaa uutta tuotetta, mutta tarkempia juurisyytä ei aleta pohtia. Valmistusvirheiden trendi on laskeva, mikä tarkoittaa, että oikeaan suuntaan ollaan menossa.

#### **4.3.5 Virheelliset lähtöarvot**

Virheelliset lähtöarvot on viimeinen merkittävämpi muutostöiden aiheuttaja. Kaikista palautteista 5,8 % johtui siitä, että lähtöarvot ovat muuttuneet projektin aikana tai niitä ei ole määritetty riittävän tarkasti projektin alussa. Virheellisten lähtöarvojen juurisyyt jakautuivat kolmeen pääkategoriaan: Ympäristö, Muutos ja Menetelmät, ja nämä on esitelty Kuvassa 18.



**Kuva 18.** Virheellisten lähtöarvojen juurisyyt kalanruotokaaviossa

Virheellisten lähtöarvojen suurin pääkategoria oli Ympäristö, joka sisältää juurisyytä, joiden aiheuttajat ovat projektin ulkopuolisia. Kaupallisten komponenttien aiheuttamat ongelmat, kuten epätarkat 3D-mallit tai niiden ominaisuudet ovat asioita, joihin ei voida vaikuttaa. Toinen haastava tekijä on pitkän toimitusajan omaavat komponentit. Nämä osat, esimerkiksi laitteen runko, on tilattava huomattavan paljon aikaisemmin, kuin muut runkoon liittyvät osat on ehditty suunnittelemaan loppuun. Tällöin on väistämätöntä, että runkoon tulee myöhemmin muutoksia.

Toiseksi suurin pääkategoria virheellisillä lähtöarvoilla oli Muutos. Näistä suurin osa johtui nimenomaan siitä, ettei lähtöarvoja ollut määritetty projektin alussa riittävän tarkasti. Projekteissa on oltava tiettyä joustavuutta, mutta myöhään tulleet muutokset aiheuttavat taas turhaan muutoksia laitteelle siinä vaiheessa, kun niiden vaikutukset muihin komponentteihin on merkittävin ja siten vaikutus kustannuksiin suurin. Viimeinen pääkategoria on Menetelmät, johon tuli vain kolme palautetta. Voidaankin todeta, että niiden juurisyiden vaikutus on vähäinen projektin mittapuulla. Esimerkiksi 3D-mallien toimittaminen vähäpätöisistäkin osista alihankkijalle veisi resursseja huomattavasti enemmän, kuin tässä tilanteessa saataisiin hyötyä projektia ajatellen.

#### **4.3.6 Asennusvirhe, logistiikan virhe, hankinnan virhe ja rakennekäsittelyn virhe**

Lopuista yläkategorioista eli asennusvirhe, logistiikan virhe, hankinnan virhe ja rakennekäsittely virhe kertyi yhteensä vain 3 % palautteista. Näiden muutostöiden vaikutus kokonaiskuvassa on siis hyvin pieni, joten niille ei ole erikseen muodostettu juurisyistä kalanruotokaavioita.

Vähäinen määrä palautteita kertoo, että näiden tulosten perusteella kyseisissä osaluissa ei ole suuria ongelmien aiheuttajia. Ongelmia on siis vähän, joten sen perusteella voidaan sulkea pois niiden merkittävyys muutostöiden juurisyihin. Tulee kuitenkin huomioida, ettei näiden kategorioiden kaikki ongelmat ole välttämättä päätyneet tarkastellulle palautelistalle ja siten eivät ole päätyneet analyysiin.

## 5. TULOKSET

Diplomityön empiirinen osio koostui kahdesta erillisestä osiosta; prosessimallin luomisesta ja vertaamisesta kohdeprojektiin sekä kohdeprojektin muutostöiden juurisyiden tutkimisesta. Seuraavaksi esitetään empiirisen osion tulokset koostetusti ja arvioidaan käytettyjen menetelmien vaikutusta tulosten luotettavuuteen. Molempien osioiden menetelmässä tutkija itse on ollut aktiivisesti vaikuttamassa ja tämä tulee huomioida tuloksia tulkittaessa.

Prosessimallin pohjana on käytetty kolmea käytössä ollutta työlistaa uustuoteprojekteille. Luotu prosessimalli on katselmoitu yhdessä tuotannon koordinaattoreiden kanssa useampaan kertaan, joten luotua prosessimallia voidaan pitää luotettavana. Prosessimallin tehtävälistaa tulee myös arvioida jokaisen projektin kohdalla erikseen. Pienemmissä projekteissa tulee löytyä tarvittavaa joustoa myös noudatettavalle prosessimallille. Prosessimallin tehtävänä on osoittaa työtehtävien järjestystä ja antaa yleiskuva tarvittavista toimenpiteistä uustuoteprojektille.

Prosessimallista johdettujen laskelmien tuloksia tulee tulkita varovaisesti. Ne ovat yksinkertaistettuja esityksiä monimutkaisista ja monisyisistä tapatumista, joiden taustatiedot ovat kuitenkin todellisesta prosessista. Käytössä ollut data on hyvin pieni otanta ja siitä tehdyt johtopäätökset ovat alttiita häiriöille. Tulokset antavat kuitenkin oikeaa suuruusluokkaa siitä, millaisia taloudellisia vaikutuksia aiheutuu tekemättömästä työstä projektin ja ylösajon aikana.

Muutostöiden juurisyysanalyysin tuloksia voi pitää hyvin luotettavina, koska niiden pohjalla on käytetty suurta otantaa projektin todellisista muutostyöpyynnöistä. Muutostöitä kirjaamassa on ollut kaksi erillistä asennusporukkaa sekä tehdas- ja kenttätiestien suorittajat. Itse analyysissä mukana oli projektin aikaisia suunnittelijoita ja analyysiä tehtiin yhteensä 14 eri istuntoa. Virheen mahdollisuuksia lisää se, että kaikkia muutospyyntöjä ei välttämättä ole kirjattu kyseiselle listalle ja osaa kirjatusta muutospyynnöistä ei enää jälkikäteen osattu arvioida, koska muutospyyntöön ei ollut kirjattu riittävästi tietoja.

### 5.1 Prosessimallin tulokset

Projektille on tärkeää, että eri osapuolilla on yhteiset tavoitteet. Yhteisiä tavoitteita on vaikea luoda, jos eri osapuolet eivät ymmärrä eri tehtävien välisiä yhteyksiä. Luotu prosessimalli auttaa ymmärtämään yksityiskohtaiset työtehtävät, tehtävien väliset

riippuvuussuhteet sekä työjärjestyksen. Prosessimallin avulla myös varmistetaan, että oikeat ihmiset kohtaisivat oikeaan aikaan. Vertaamalla luotua prosessimallia kohdeprojektiin pystyttiin tunnistamaan osa-alueet, joissa on ollut suurimmat haasteet. Pystyttiin myös tunnistamaan, että loppupuolella projektia on tehty paljon asioita oikein. Prosessimallista voidaan osoittaa tehtävät, jotka on tehty ajallaan, mutta niiden merkittävyyttä on vaikea arvioida jälkeen päin. Ajallaan ja oikein tehtyjen töiden vaikutusta tuntien positiiviseen kehittymiseen on vaikea osoittaa.

Merkittävin tulos prosessimallin vertaamisesta kohdeprojektiin oli tuotannon projektitiimin resursoimisen puuttuminen. Kun työtehtävälle ei ole osoittaa realistista resurssia, se jää tekemättä. Tuotannon tuki projektin alkupuolella on jäänyt hyvin pieneksi, mikä esiintyy muun muassa kokoonpanon tavoitetuntien suurena kasvuna projektin loppupuolella.

Toinen merkittävä tekijä ylösajon onnistumiselle on tuotantopaikan nimeäminen riittävän aikaisin. Linjakohtaisilla yksityiskohdilla on merkitystä jo tuoterakenteelle, mutta merkittävin tekijä on ajaa tuotanto ylös oikealla valmistuspaikalla. Jokainen siirto häiritsee merkittävästi kokoonpanotuntien kehitystä, kuten kohdeprojektin tuntitoteumasta voidaan nähdä. Käytännössä jokaisen siirron jälkeen aloitetaan alusta tuotannon ylös ajaminen, jolloin myös tuntikehitys taantuu edeltäneille tasoille.

Luvussa 3.2.1 esitettiin, että kohdeprojektin valmistuspaikan siirroilla oli merkittäviä vaikutuksia ylimenevien kokoonpanotuntien kehittymiseen. Kohdeprojektissa valmistuspaikkaa siirrettiin kahteen kertaan. Myllypurossa Sandvikin tehtaalla kokoonpannaan useimmiten prototyypit omassa hallissa, joten uustuoteprojekteissa voidaan arvioida olevan valmistuspaikan vaihto kertaalleen hyväksyttävää. Kohdeprojektissa kuitenkin tehtiin kaksi siirtoa ja toisen siirron arvioitiin aiheuttavan 37 prosenttia enemmän ylimeneviä kokoonpanotunteja ensimmäisen vuoden aikana. Toisen ja ensimmäisen siirron yhteisvaikutuksen arvioitiin olevan jopa 56 prosenttia enemmän ylimeneviä kokoonpanotunteja.

Kolmas merkittävä tekijä on tuotannon omien tavoitteiden nimeäminen projektin alussa. Näitä ovat tavoitekokoonpanotunnit, tavoiteläpimenoaika ja alustava tuotantopaikka. Näillä kolmella tekijällä on merkittäviä vaikutuksia tuoterakenteeseen ja tästä syystä olisikin tärkeää nimetä tuotannon omat tavoitteet heti alussa ja seurata niitä läpi projektin. Kokoonpanotunneilla ja nimikkeiden määrällä on suora yhteys, joten niiden kehittymistä tulisi iteroida läpi konseptisuunnittelun. Nimikemäärän kasvaessa kasvaa myös kokoonpanotunnit. Jos tavoitetuntien ei haluta kasvavan, tulee asialle tehdä jotain siinä vaiheessa projektia, kun nimikemäärään voidaan vielä helposti vaikuttaa.



Neljäs merkittävä tekijä ylösajon onnistumiselle on oppimisen leviäminen. Alussa nopea oppiminen on kriittistä, jotta tunnit lähtisivät laskuun. Kun laitteille otetaan uusia asentajia, vaikutetaan negatiivisesti tuntien kehitykseen kuten luvussa 3.2.3 nähtiin. Kun tarkastellaan oppimisen leviämistä ja ylimenevien kokoonpanotuntien kehitystä ensimmäisen vuoden aikana, voidaan todeta, että asentajien keskimääräisellä kokemuksella on suora vaikutus kokoonpanotuntien kehittymiseen.

Edellä mainittujen kohtien lisäksi havaittiin, että ylösajon onnistumisen kannalta merkittäviä tehtäviä ovat säätöohjeiden koostaminen, tuotannon testiporaajan kouluttaminen ja aputyövälineiden hankinta. Kaikki nämä kohdat kertovat siitä, että tuotannon ylösajolle ei ole ollut riittävän yksityiskohtaista suunnitelmaa vaan ongelmia on ratkottu sitä mukaan, kun niitä on ilmennyt. Tekemisestä puuttuu etupainotteisuus. Luvussa 3.2.2 arvioitiin, että mikäli projektissa olisi hoidettu kaikki prosessimallissa nimetyt tehtävät ajallaan olisi voitu vaikuttaa lopulliseen kokoonpanon tuntitavoitteeseen sekä ensimmäisen vuoden aikaisiin ylimeneviin kokoonpanotunteihin merkittävästi. Tapaus 3 arvioi, että tekemättömien tehtävien takia syntyi 65,5 prosenttia enemmän ylimeneviä kokoonpanotunteja.

## 5.2 Juurisyysanalyysin tulokset

Juurisyysanalyysi kohdeprojektin muutostöistä antoi selkeän kuvan missä suurimmat ongelmat ovat. Merkittävien tulosten se, että muutostöitä on aivan liikaa ja olisi tärkeää saada karsittua muutostöiden aiheuttajia ja siten hukkaa. Toinen merkittävä tulos on linjata, millaisia muutostöitä on todella tarpeellista tehdä ylösajon aikana. Karkeasti juurisyysanalyysin tulokset jakautuivat eri kategorioihin taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. *Juurisyysanalyysin tulosten jakautuminen karkeasti*

1. Sovittu tiedonanto	45,4%
2. Suunnittelun virhe	22,1%
3. Mielipide	12,19%
4. Alihankinnan virhe	11,01%
5. Virheelliset lähtöarvot	5,8%
6. Asennuksen, logistiikan, hankinnan tai rakennekäsittelyn virhe	3,4%
7. Oston virhe	0%

Sovittu tiedonanto käsittää muutostyöt, joiden kohdalla on toimintatavoissa sovittu etukäteen, että tarkat mitat tai paikat katsotaan vasta laitteella. Kategoria käsitti lukuisia pieniä muutoksia, kuten mittamuutoksia, asennettavuuden ja huollettavuuden helpotusta sekä lisätuentaa. Nämä ovat kuitenkin asioita, jotka tulisi olla kunnossa jo ennen proton tai nollasarjan kokoonpanoa. Asioita jätetäänkin liikaa katsottavaksi laitteelle. Toinen merkittävä pääjuurisyy oli asentajien omat tulkinnat letkujen ja kaapeleiden reitityksistä. Reitityksistä puuttuu selkeä ohjeistus, jota asentajat myös noudattaisivat. Lisäksi analyysi osoitti, että kohdeprojektissa sopivaa ratkaisua haetaan osittain kokeilemalla. Tämä on ristiriidassa sen suhteen, että uustuoteprojektin aikana ei ole tarkoituksenmukaista kokeilla uusia ratkaisuja, joiden toimivuutta ei ole ensin todennettu sille tarkoitettussa projektissa.

Toiseksi suurin kategoria juurisyille oli suunnittelun virhe. Tästä kategoriasta merkittävimmäksi juurisyiksi nousi tarkastelun puute. Huomattavan moni virhe olisi ollut havaittavissa tarkemman tarkastelun avulla. Lisäksi näkemyksen puutteen eli osaamisen puuttumisen takia syntyi merkittävästi virheitä kohdeprojektissa, jotka havaittiin vasta laitteella, vaikka ne olisi ollut havaittavissa jo 3D-malleista sekä piirustuksista.

Yllä esitetyistä juurisyistä saadaan yhteenvetona se, että suurin juurisyy on keskeneräisen laitteen hyväksyminen sarjatuotantoon. Juurisyyanalyysi osoittaa, että merkittävä osa muutostöistä olisi ennakoitavissa tekemällä asioita etupainoisemmin. Suurin osa muutostyöpyyntöjen juurisyistä ajoittuu porttimallin G2 ja G3 välille eli tuotesuunnittelun ajalle. Toinen merkittävä löydös juurisyyanalyysistä on palautteiden laatu. Kategoria mielipiteistä kertoo siitä, että asentajat antavat paljon palautetta oman kokemuksensa pohjalta. Kuten edellä todettu, ylösajoprosessi ei ole oikea hetki enää parannella laitetta. Puuttuukin selkeä linjaus siitä, millaista palautetta tässä kohtaa asentajilta ja testiporaajilta odotetaan sekä siitä millaisia muutostöitä suunnittelun tulee toteuttaa.

Alihankinnan juurisyitä ei ole lähdetty tässä analyysissä tarkemmin tutkimaan, koska niiden vaikuttajat ovat suurimmaksi osin alihankkijan päässä eikä niitä siitä syystä osata arvioida tässä työssä. Muihin juurisyihin verrattuna kohdat 4-7 ovat merkitykseltään vähäisempiä vain pienen osan muutostöiden juurisyistä sijoittuessa niihin. Tuloksissa tulee kuitenkin huomioida, ettei suunnittelun muutostyölistalle ole välttämättä päätynyt näiden kategorioiden kaikkia muutostyöpyyntöjä. Voidaan kuitenkin olettaa tämän tutkimuksen perusteella, että suurimmat haasteet eivät ole näissä kategorioissa.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kohdeprojektin statusraportissa on määritetty, että nollasarjan tuotannolla pyritään ajamaan tuotanto ylös ja verifioimaan prototyypin aikaiset muutokset kokoonpanosta ja testauksesta. Nollasarjassa ei siis ole ollut tarkoitus enää korjailla virheitä, parannella laitetta tai tehdä muita muutostöitä. Tässä kohtaa projektia tulisi olla sarjatuotantovalmis tuote. Tulokset osoittavat, että nollasarjan aikana on tehty kaikkea muutakin ja sarjatuotannon aikainen tuntikehitys kertoo siitä, että prosessissa on ollut paljon häiriöitä eikä siksi ole nähty haluttua kehitystä.

Seuraavaksi analysoidaan mitä tuloksista voi päätellä ja vastataan luvun 4.1 esittämiin hypoteeseihin. Johtopäätöksissä myös todennetaan löydettyä teoriaa niin tuloksiin kuin muihin löydöksiin diplomityön aikana. Lopuksi esitellään diplomityön pohjalta suositeltavat toimenpide-ehdotukset yritykselle.

### 6.1 Ylösajon näkökulmasta projektin merkityksellisimmät vaiheet

Jotta tulevaisuudessa voitaisiin varmistaa tuotannon projektitiimin resursoiminen, tulisi tarvittavien työtehtävien vaatimat resurssit arvioida kriittisesti. Projektitiimin nimeäminen on turhaa, jos kyseisillä henkilöillä ei ole oikeasti aikaa hoitaa heille määrättyjä tehtäviä. Tällä hetkellä tuotannon tuki projektin alkupuolella on liian vähäistä, tästä kertoo muun muassa kohdeprojektinkin merkittävät haasteet tuotannon ylösajossa. Ylipäätään keskusteluyhteys tuotannon ja suunnittelun välillä on ollut riittämätöntä projektin alussa, milloin olisi eniten tarvittu tukea projektin kannattavuuden näkökulmasta esimerkiksi tavoitetuntien määrityksessä ja sen kehityksen seuraamisessa aktiivisemmin. Tuotannon tavoitteiden nimeämisellä ja aktiivisella seuraamisella saadaan sitoutettua tuotantoa paremmin osaksi projektia ja siten saataisiin projektin alussa enemmän tukea tuotannolta.

Kohdeprojektissa havaittiin, että ylimenevien kokoonpanotuntien kasvun suurin vaikuttaja oli alun tekemättömät työt, jotka aiheuttivat häiriöitä ylösajon aikana ja vaikuttivat projektin kannattavuuteen ensimmäisen vuoden aikana. Sarjatuotantoon on siirretty tuote ja tuotantoprosessi, joista kumpikaan ei ole ollut siihen valmis. Toinen merkittävä vaikuttaja, jonka taustalla myös on alun tekemättömät tehtävät, oli valmistuspaikan siirto tarpeettomasti kahteen kertaan. Siirtojen yhteydessä kokoonpanotunnit taantuvat alun tasolle tai jopa huonommiksi, ja jokaisen siirron jälkeen menee useamman laitteen kokoonpanon verran aikaa laskea kokoonpanotunnit siirtoa

edeltäneeseen tasoon. On myös mahdollista, että koska siirtojen takia oppiminen on ollut alussa hitaampaa, ehtivät nykyiset asentajat omaksua virheellisiä työskentelytapoja. Näiden tapojen pois oppiminen voi olla haastavaa ja väistämättä niillä on negatiivista vaikutusta nykyiseen oppimiseen.

Oppimisen onnistunut levittäminen tulee alkaa jo protoasentajilta. Protovaiheessa ratkotaan lukuisia tuoterakenteen ja toiminallisuuteen liittyviä ongelmia ja protoasentajien tukena on myös päivittäin suunnittelu. Tämä tietämys täytyy saada jatkossa siirtymään osaksi sarjatuotantoa. Tulee myös pohtia, onko protoasentajilla paras mahdollinen tietämys sarjatuotannon vaatimuksista laitteelle? Olisiko jatkossa tuottavampaa yhdistää sarjatuotannon asentajien ja protoasentajien tietämystä yhteistyön avulla.

Juurisyyanalyysi myös toi esille, miten paljon muutostöistä aiheutuu pelkästään huolimattomuudesta. Suunnitteluvirheistä merkittävä osa johtui tarkastelun puutteesta ja osaamattomuudesta. Taustalla on vaikuttamassa liian kiireinen suunnittelun aikataulu, mutta tähän tarvitaan myös aktiivista vaikuttamista, jotta jatkossa ollaan paremmin tietoisia, missä yleisimmin virheitä tapahtuu ja niitä osataan etsiä sieltä sekä etupainoisesti välttää oikealla toiminnalla. Toinen tärkeä tekijä on lisätä suunnittelutöiden katselmointia läpi projektin vierustoverin kanssa sekä esimerkiksi tuotannon kanssa, jotta virheet voidaan havaita jo aikaisemmassa vaiheessa.

## 6.2 Juurisyyanalyysin hypoteesit

Luvussa 4.1 esitettiin hypoteesit muutostöiden mahdollisille juurisille. Ensimmäinen hypoteesi esitti, että alihankkijan kyvykkyys ei ole riittänyt tuottamaan uuden laitteen osia. Tutkimuksessa havaittiin, että alihankkijan päässä on ongelmia, mutta kaikkia ongelmia ei voida laittaa alihankkijan piikkiin, vaan osa heillä tapahtuvista ongelmista on suunnittelusta lähtöisin. Joillain alihankkijoilla on systemaattisesti sama virhe, joka viittaa muun muassa bufferivarastojen tyhjenemiseen. Toinen hypoteesi käsitteli riittävän tiedon tuottamista ylösajoprosessiin. Tutkimuksissa on havaittavissa vahvasti, että ylösajoprosessia ei ole riittävästi suunniteltu etukäteen. Ongelmiin on puututtu vasta, kun on ollut pakko.

Kolmas hypoteesi esitti, että tuotannon tietämys ei ole riittävällä tasolla. Juurisyyanalyysin tuloksista oli havaittavissa, että tuotannon tietämyksessä on puutteita, muun muassa ominaisuuksia on kirjattu ongelmina ja huomattava määrä mielipidepalautteita, joita ei ole toteutettu. Osaamattomuudesta viestittää myös se, että palautteiden määrä on uusien asentajien kohdalla lähtenyt kasvamaan. Myös kun

tarkastellaan tuntien kehitystä sarjatuotannossa, voidaan havaita, että ensimmäisen vuoden osalta laitteilla on merkittävä määrä uusia asentajia, millä on negatiivista vaikutusta tuntien kehitykseen.

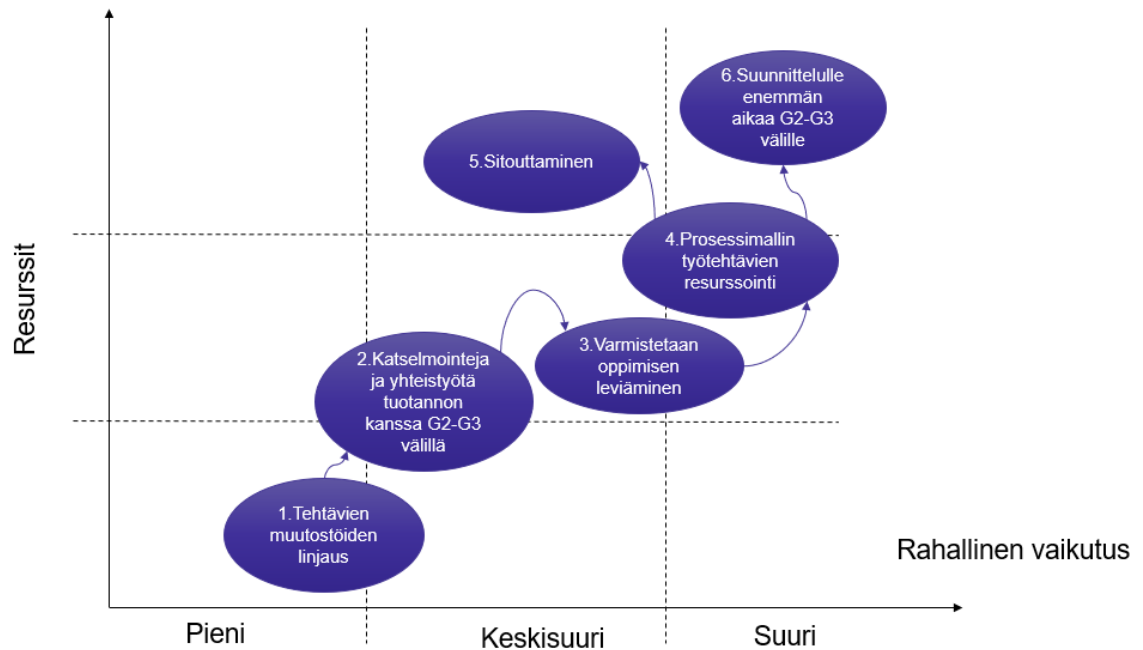
Neljäs hypoteesi esitti, että porttimalli on päästänyt ongelman protolta virheellisesti ja puutteellisesti läpi. Luvussa 2.1.3 kerrottiin porttimallin huonoista puolista. Porttimalli toimii hyvin ylemmän johdon riskinhallinnantyökaluna, mutta itse tuotekehityksen prosessin tukemiseen porttimalli on puutteellinen. Sen avulla voidaan valvoa oikeiden työtehtävien tapahtumista, mutta se ei riittävästi ota kantaa yksityiskohtaisten päätösten tasoon. Täten on mahdollista, että rakenteeltaan keskeneräinen proto pääsee porttimallissa läpi ja siten ongelmat realisoituvat vasta sarjatuotannossa.

Viiden hypoteesi esitti, että tieto ei päädy sinne missä sitä tarvitaan. Juurisyyanalyysissä on havaittavissa jonkun verran ongelmaa viestinnässä. Suurin ongelma on kuitenkin se, ettei tietämys suunnittelulta ja protoasentajilta ole siirtynyt tuotannolle. Kokemusperäinen oppiminen tulee dokumentoida sellaiseen muotoon, että myös sarjatuotannon aikaiset tekijät ovat tietoisia merkittävimmistä ongelmista.

Kuudes hypoteesi esitti, että projektissa olisi tapahtunut virhe, esimerkiksi asiakastarpeet olisi määritetty liian myöhään. Juurisyyanalyysin tuloksista vain pieni osa viittasi tähän ongelmaa, joten voidaan olettaa, ettei virheen syntyminen ole suurin ongelma. Seitsemäs hypoteesi esitti, että projektin aikataulu ei pysty huomioimaan, koska osien on oltava valmiina. Projektin aikataulu on rajattu tietyn pituiseksi eikä siihen tulla saamaan lisää aikaa. Jotta tarvittavat muutokset tulisi ajallaan valmiiksi, tulee tulevaisuudessa saada karsittua merkittävästi toteutettavien muutostöiden määrää ja tarkempaa linjausta toteutettavista muutostöistä. Kahdeksas hypoteesi muutostöistä esitti, että juurisyy on satunnainen prosessiin liittymätön tapahtuma. Juurisyyanalyysi ei osoittanut, että tällaista tapahtumaa olisi tapahtunut.

### **6.3 Toimenpide-ehdotukset**

Diplomityön tutkimusten perusteella yritykselle suositellaan seuraavia toimenpiteitä. Toimenpide-ehdotusten merkittävyys rahallisesti ja niiden viemien resurssien määrä on arvioitu kuvassa 19. Vasemmassa alakulmassa ovat toimenpiteet, joiden toteutus sitoo vähiten resursseja, mutta myös vaikutus on rahallisesti pienempi. Oikeassa yläkulmassa on taas toimenpiteet, joihin tarvitaan merkittävästi lisää resursseja, mutta niiden vaikutus on myös rahallisesti merkittävämpi.



**Kuva 19.** Toimenpide-ehdotukset tutkimuksen perusteella

Suuri osa muutostöistä on sellaisia, joiden palaute olisi pitänyt saada jo aikaisemmin. Ensimmäinen toimenpide-ehdotus on rajata selkeämmin, milloin palautetta halutaan saada, muun muassa asennettavuudesta tai huollettavuudesta, ja milloin keskitytään laadulle välttämättömiin korjauksiin. Nollasarja ja ylösajoprosessi ovat selkeästi vaiheita, jolloin ei ole enää tarkoitus keksittyä laitteen parantamiseen vaan kuten alussa todettiin, ne ovat ajanjakso, kun verifioidaan proton aikaiset muutokset ja ajetaan tuotanto ylös. Oleellista on myös selkeyttää suunnittelulle millaisia palautteita toteutetaan. Jokaiseen muutostyöhön tulee olla perusteltu syy toteuttaa se.

Juurisyyanalyysin muutospyynnöistä 45 prosenttia oli sovittua tiedonantoa eli asioita, jotka on tarkoituksella jätetty tekemättä etukäteen. Pieni osa muutostöistä on sellaisia, jotka todella ovat virheiden korjaamista. Sama nousi esille muistakin kategorioista. Monen muutostyön kohdalla tuli myös esille, että sitä ei ole välttämätöntä korjata. Jo pelkästään mielipide-kategoria kertoo siitä, että paljon muutoksia tehdään mielipiteiden pohjalta. Olemassa oleva ratkaisu on ollut toimiva, ei ehkä täydellinen, mutta onko ylösajo oikea hetki tehdä muutostöitä, jotka eivät ole aivan välttämättömiä? Laitteeseen kohdistuvat parannusehdotukset tulee saada suunnittelun tietoon aikaisemmassa vaiheessa. Tätä varten täytyy järjestää katselmointeja eli tilaisuuksia, joissa eri osapuolet voivat vaikuttaa parhaan ratkaisun löytämiseen. Toinen toimenpide-ehdotus käsittää katselmointien lisäämisen G2-G3 välille ja ylipäätään yhteistyön lisäämistä tuotannon kanssa.

Kolmas ja neljäs toimenpide-ehdotus sisältää tuotannon prosessimallin noudattamista jatkossa. On tärkeää varmistaa, että oppiminen leviää protoasentajilta sarjatuotannon asentajille ja, että tuotannon työtehtäviin on resurssoitu henkilöt, joilla todella on aikaa hoitaa tehtävät ajallaan. Prosessimalli osoitti selkeästi, miten varsinkin projektin alussa on jäänyt työtehtäviä hoitamatta.

Empiirisen osion tuloksista nousi myös vahvasti esille sitouttamisen tarve. Tärkeää olisi sitouttaa niin suunnittelu, tuotanto, kollega kuin eri osastotkin osaksi projektia. Osa sitouttamista on löytää yhteiset tavoitteet ja varmistaa, että eri osapuolet ymmärtävät omat työtehtävät ja vastuualueensa sekä myös toisten. Kokemusperäisen oppimisen jakaminen projektin aikana auttaa ehkäisemään myöhempiä virheitä. Tarvitsee kuitenkin ymmärtää henkilöiden vastuualueet, jotta tarvittavaa tietoa jaetaan oikeille henkilöille. Sitouttamisella tulisi myös tavoitella sitä, että eri osapuolet hakisivat yhdessä parhaita ratkaisuja uudelle tuotteelle, ei vain omalle osastolleen. Viides toimenpide-ehdotus on tulevaisuudessa sitouttaa paremmin eri osapuolet osaksi projektia.

Juurisyyanalyysi osoitti selkeästi, että liikaa asioita jätetään katsottavaksi vasta protolla tai nollasarjan laitteilla. Virheet ovat kuitenkin kustannusten kannalta järkevämpää korjata etupainotteisesti. Luvussa 2.3 kerrotaan etupainoisen suunnittelun hyödyistä. Tämä on kohta, johon tulisi panostaa jatkossa. Merkittävä osa kohdeprojektin muutostyöpyynnöistä olisi ollut estettävissä, jos suunnittelulle olisi tarjottu enemmän aikaa saada suunnittelutyö valmiiksi. Tähän tarvitaan myös selkeää linjausta siitä, että asiat todella hoidetaan etupainoisesti. Tulevaisuudessa tuleekin keskittyä siihen, että proton jälkeen laite todella on valmis sarjatuotantoon. Hienosäätöä voidaan jatkaa, kun ylösajo on suoritettu onnistuneesti. Viimeinen ja merkittävin toimenpide-ehdotus onkin tarjota suunnittelulle enemmän aikaa G2-G3 välille.

Diplomityön päätavoitteena oli esittää kehitysehdotuksia, joiden avulla saavutettaisiin jatkossa 50 prosenttia vähemmän ylimeneviä kokoonpanotunteja. Jo pelkästään prosessimallin tuloksien avulla osoitettiin toimia joilla vähentää merkittävästi ylimenevien kokoonpanotuntien syntymistä. Tähän kun huomioidaan, että tulevaisuudessa osataan ennakoida muutostöiden juurisyitä tehokkaammin, voidaan todeta, että diplomityön avulla on osoitettu ainakin 50 prosentin edestä toimia joilla vähentää ylimeneviä kokoonpanotuntien syntymistä.

# LÄHTEET

- Almgren, H. 1999, "Towards a framework for analyzing efficiency during start-up: An empirical investigation of a Swedish auto manufacturer", *International Journal of Production Economics*, vol. 60, no. 1, pp. 79-86.
- Andersen, B. & Fagerhaug, T. 2006, *Root cause analysis: simplified tools and techniques*, Second edn, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.
- Argote, L. & Eppele, D. 1990, "Learning Curves in Manufacturing", *Science*, vol. 247, no. 4945, pp. 920-924.
- Bergman, B.L.S., Fundin, A.P., Gremyr, I.C. & Johansson, P.M. 2002, "Beyond root-cause analysis [product development process improvement]", *IEEE*, , pp. 140.
- Cooper, R.G. 2019, "The drivers of success in new-product development", *Industrial Marketing Management*, vol. 76, pp. 36-47.
- Gangidi, P. 2019, "A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique", *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 10, no. 1, pp. 295-310.
- Gross, U. 2014, "Fighting the fire: improvisational behavior during the production launch of new products", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 34, no. 6, pp. 722-749.
- Huang, J.C. & Newell, S. 2003, "Knowledge integration processes and dynamics within the context of cross-functional projects", *International Journal of Project Management*, vol. 21, no. 3, pp. 167-176.
- Jeang, A. 2015, "Learning curves for quality and productivity", *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 32, no. 8, pp. 815-829.
- Khan, M.S., Al-Ashaab, A., Shehab, E., Haque, B., Ewers, P., Sorli, M. & Sopelana, A. 2013; 2011, "Towards lean product and process development", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 26, no. 12, pp. 1105-1116.
- Kouri, I. 2010, *LEAN taskukirja*, Teknologiaoteollisuus.
- Kuusisto, Jyrki. 2017. *Jatkuva parantaminen*. Saatavissa (viitattu 2.2.2020) <https://www.lean5.fi/jatkuva-parantaminen/>
- Li, H.J., Shi, Y.J., Gregory, M. & Tan, K.H. 2014, "Rapid production ramp-up capability: a collaborative supply network perspective", *International Journal of Production Research*, vol. 52, no. 10, pp. 2999-3013.



Loch, C.H. & Terwiesch, C. 1999, "Accelerating the process of engineering change orders: capacity and congestion effects", *The Journal of Product Innovation Management*, vol. 16, no. 2, pp. 145-159.

Mascitelli, R. 2011. "Mastering lean product development: a practical, event-driven process for maximizing speed, profits, and quality", First edn, *Technology Perspectives*, Northridge, 323 s.

Mascitelli, R. 2007. "The Lean Product Development Guidebook: everything your design team needs to improve efficiency and slash time-to-market", *Technology Perspectives*, Northridge, 308 s.

Modig, N., Åhlström, P. & Tillman, M. 2013, *Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin*, 1. p. edn, Rheologica Publishing, Tukholma.

Morgan, J.M. & Liker, J.K. 2006. "The Toyota product development system". CRC Press, Boca Raton.

Oorschot, v., KE Kim, Sengupta, K., Akkermans, H.H. & Wassenhove, v., LN 2010, "Get fat fast: surviving stage-gate in NPD", *Journal of Product Innovation Management*, vol. 27, no. 6, pp. 828-839.

Reidelbach, M.A. 1991, "Engineering change management for long-lead-time production environments", *Production and Inventory Management Journal*, vol. 32, no. 2, pp. 84-88.

Reinertsen, D. & Shaeffer, L. 2005, "Making R&D Lean", *Research-Technology Management*, vol. 48, no. 4, pp. 51-57.

Rocktechnology.Sandvik – Tietoja Meistä. Saatavissa (viitattu 8.11.2019) <https://www.rocktechnology.sandvik/fi/tietoja-meist%C3%A4/>

Simula, H., Lehtimäki, T. & Salo, J. 2008. Re-thinking the product: from innovative technology to productized offering, *Proceedings, Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Society for Professional Innovation Management Conference*, Tours, France.

Sipilä, J. 1996, *Asiantuntijapalvelujen tuotteistaminen*, WSOY, Helsinki.

Suominen, A., Kantola, J. & Tuominen, A. 2009. Reviewing and defining productization, *20th Annual Conference of the International Society for Professional Innovation Management*.

Terwiesch, C. & E. Bohn, R. 2001, "Learning and process improvement during production ramp-up", *International Journal of Production Economics*, vol. 70, no. 1, pp. 1-19.

Valtakoski, A., Järvi, K., *Företagsekonomi*, Linköpings universitet, Filosofiska fakulteten & Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling 2016, "Productization of

knowledge-intensive services: Enabling knowledge sharing and cross-unit collaboration", *Journal of Service Management*, vol. 27, no. 3, pp. 360-390.

Ward, V.L., House, A.O. & Hamer, S. 2009, "Knowledge brokering: Exploring the process of transferring knowledge into action", *BMC Health Services Research*, vol. 9, no. 1, pp. 12-12.

Wochner, S., Grunow, M., Staebelin, T. & Stollertz, R. 2016, "Planning for ramp-ups and new product introductions in the automotive industry: Extending sales and operations planning", *International Journal of Production Economics*, vol. 182, pp. 372-383.

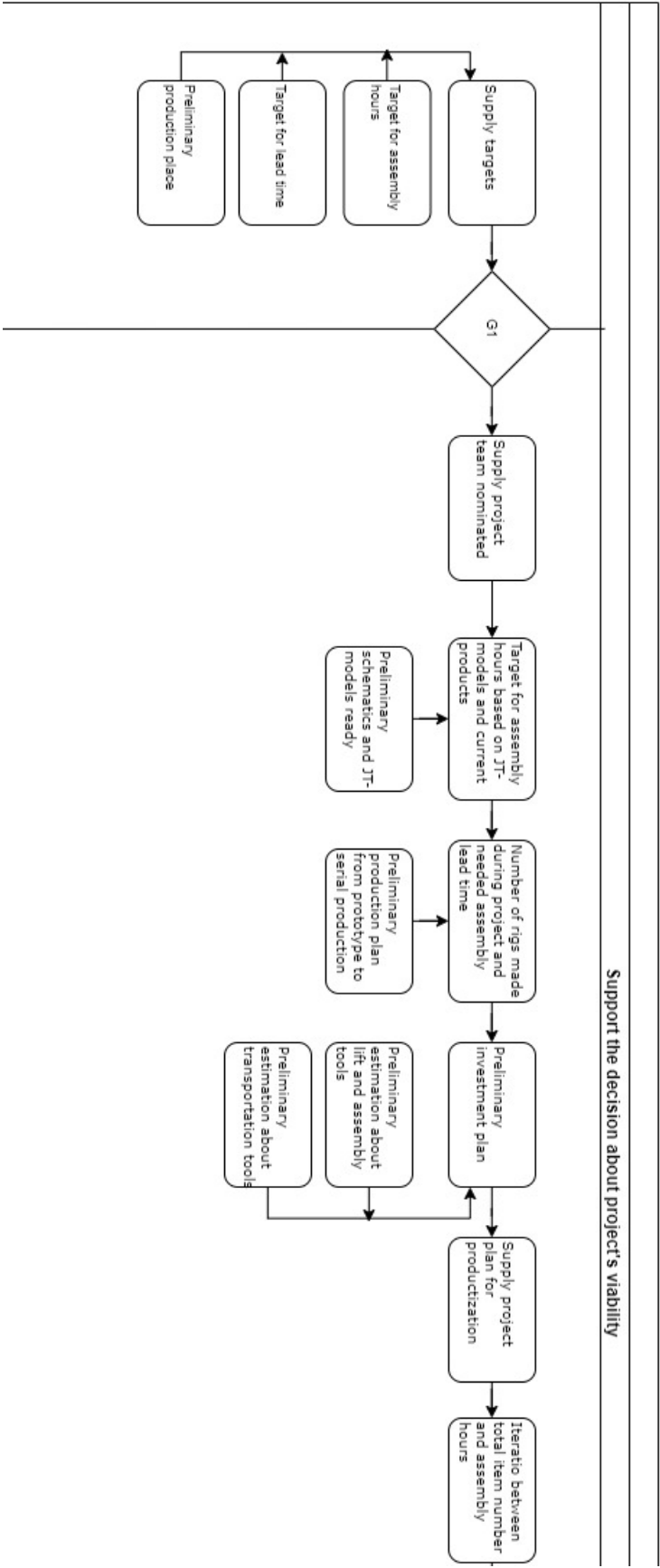
## LIITE A:

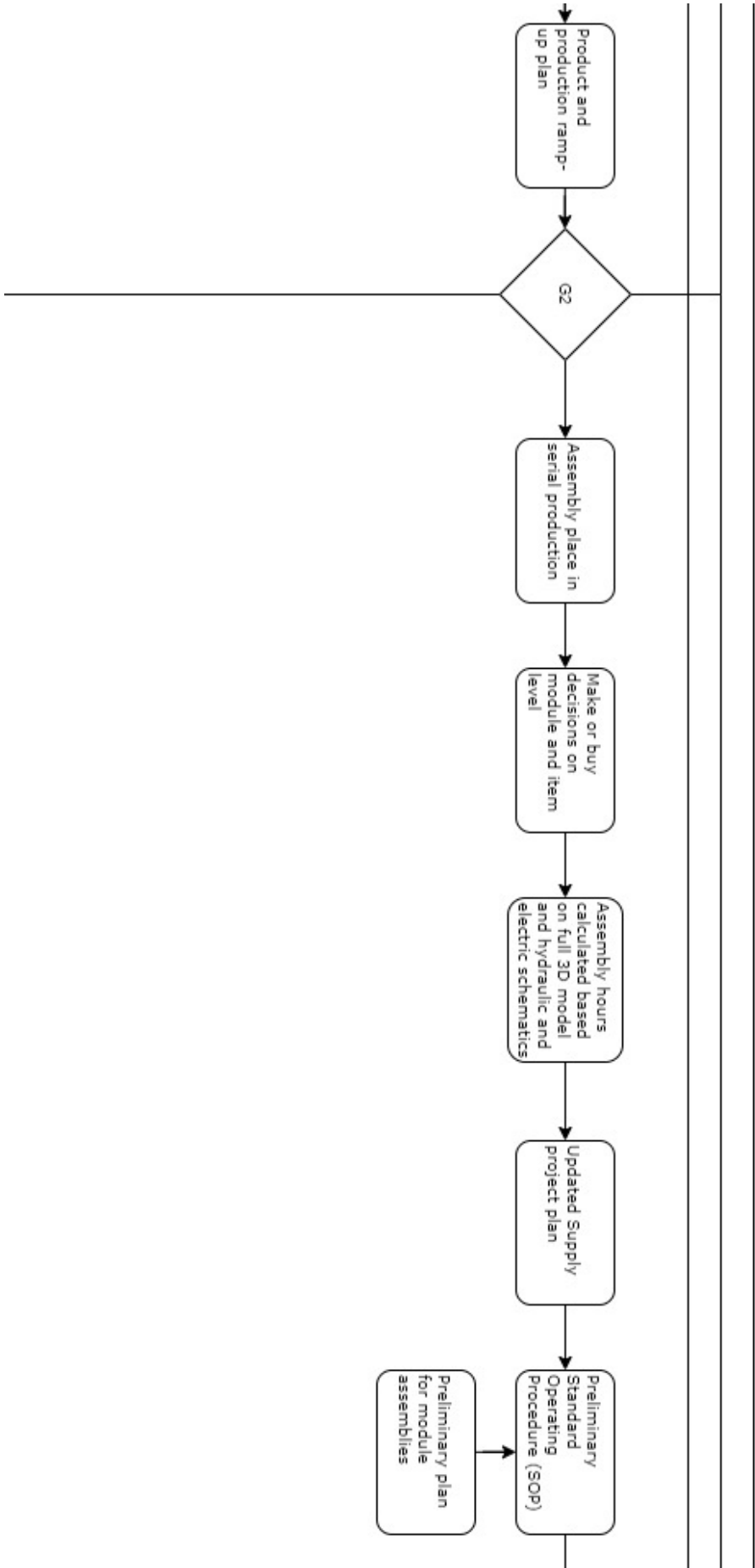
Lähestymistapa	Tekijä	Vuosi	Teos
Nykyisen tuotekehityksen uudelleenbrändäys Lean-tuotekehitykseksi.	Karlsson and Alhstrom	1996	The difficult path to lean product development
Lean-tuotannon ajatusten integroiminen muiden tuotekehitysteorioiden kanssa yhdeksi.	Mynott	2000	Lean product development
	Fiore	2003	Lean strategies for product development
	Cooper and Edgett	2005	Lean, rapid and profitable new product development
	Anand and Kodali	2008	A conceptual framework for LNPDP
TPDS (Toyota Product Development System) ja leanin toimintatapojen integroiminen yhdeksi tuotekehitysteoriaksi.	Reinertsen	2009	The principles of product development flow
	Haque and James-Moore	2004	Application of lean principles to product introduction
	Oppenheim	2004	Lean product development flow
	Huthwaite	2004	Lean design solution

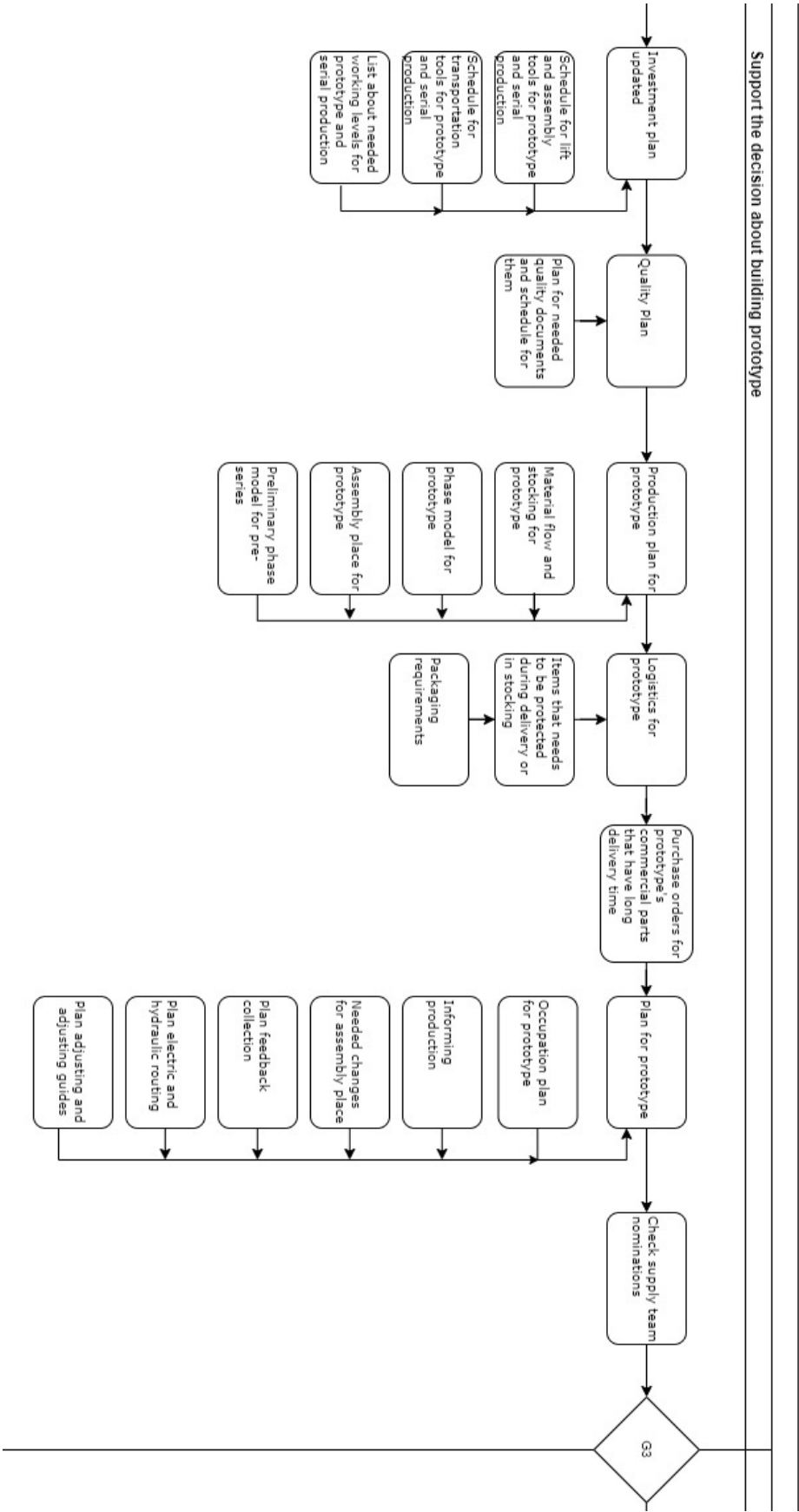
	McManus et al.	2005	Lean engineering: doing the right things right
	Hinet et al.	2006	Towards lean product lifecycle management
	Mascitelli	2006	The lean product development guidebook
	Schuh et al.	2008	Lean innovation: introducing value systems to product development
Toyotan konseptin selittäminen TPDS-esimerkkitarinoiden avulla.	Ward et al.	1998	The second Toyota paradox: how delaying decisions can make better cars faster
	Sobek at al.	1998	Another look at how Toyota integrates product development
	Kennedy	2003	Product development for the lean enterprise
	Morgan and Liker	2006	The Toyota product development system: integrating people, process, and technology

Käytännön harjoittajat soveltavat TPDS-konseptia tuotekehityksessään ja kertovat kokemuksensa.	Oosterwal	2010	The lean machine: how Harley-Davidson drove top-line growth and profitability with revolutionary lean product development  Innovative lean development: how to create, implement and maintain a learning culture using fast learning cycles
	Schipper and Swets	2009	

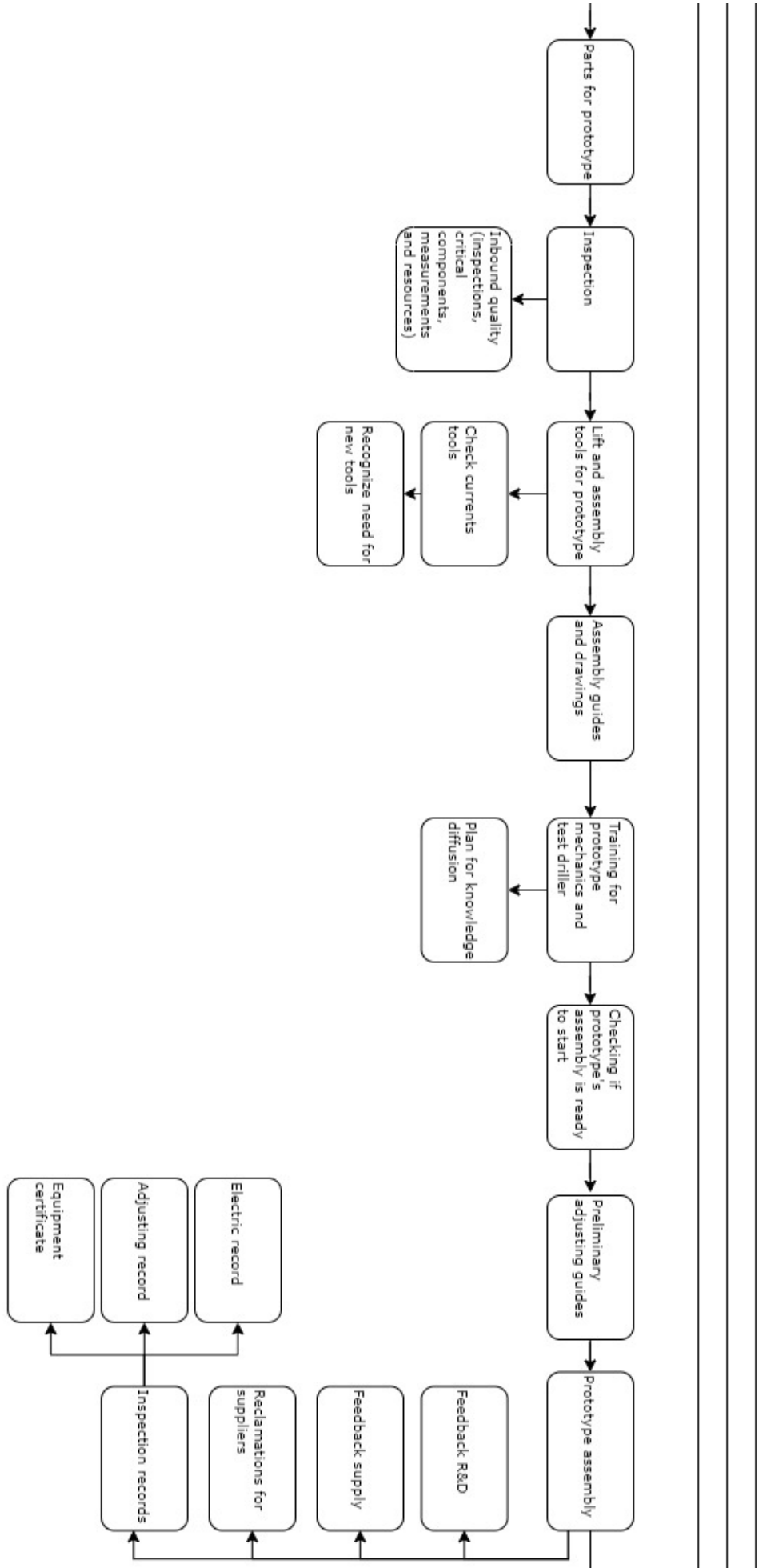
LIITE B:

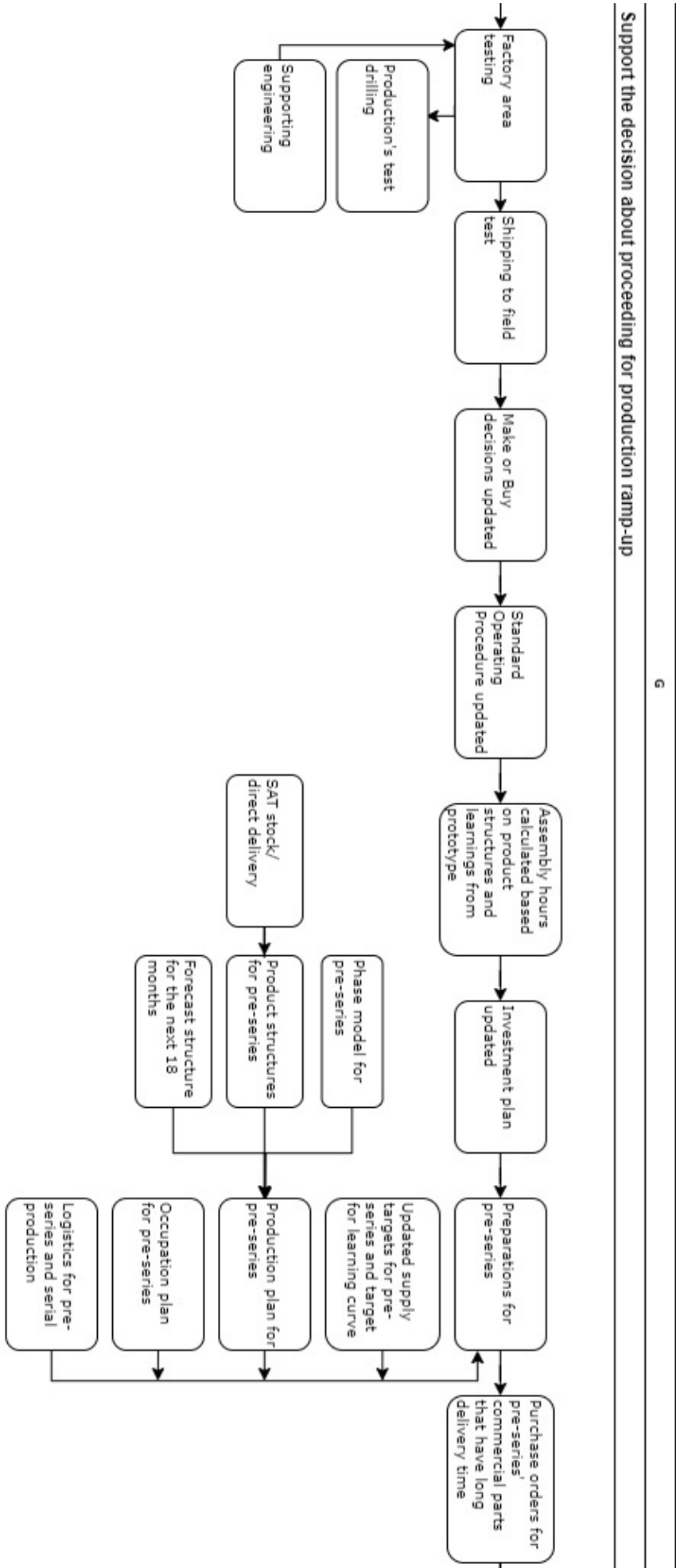


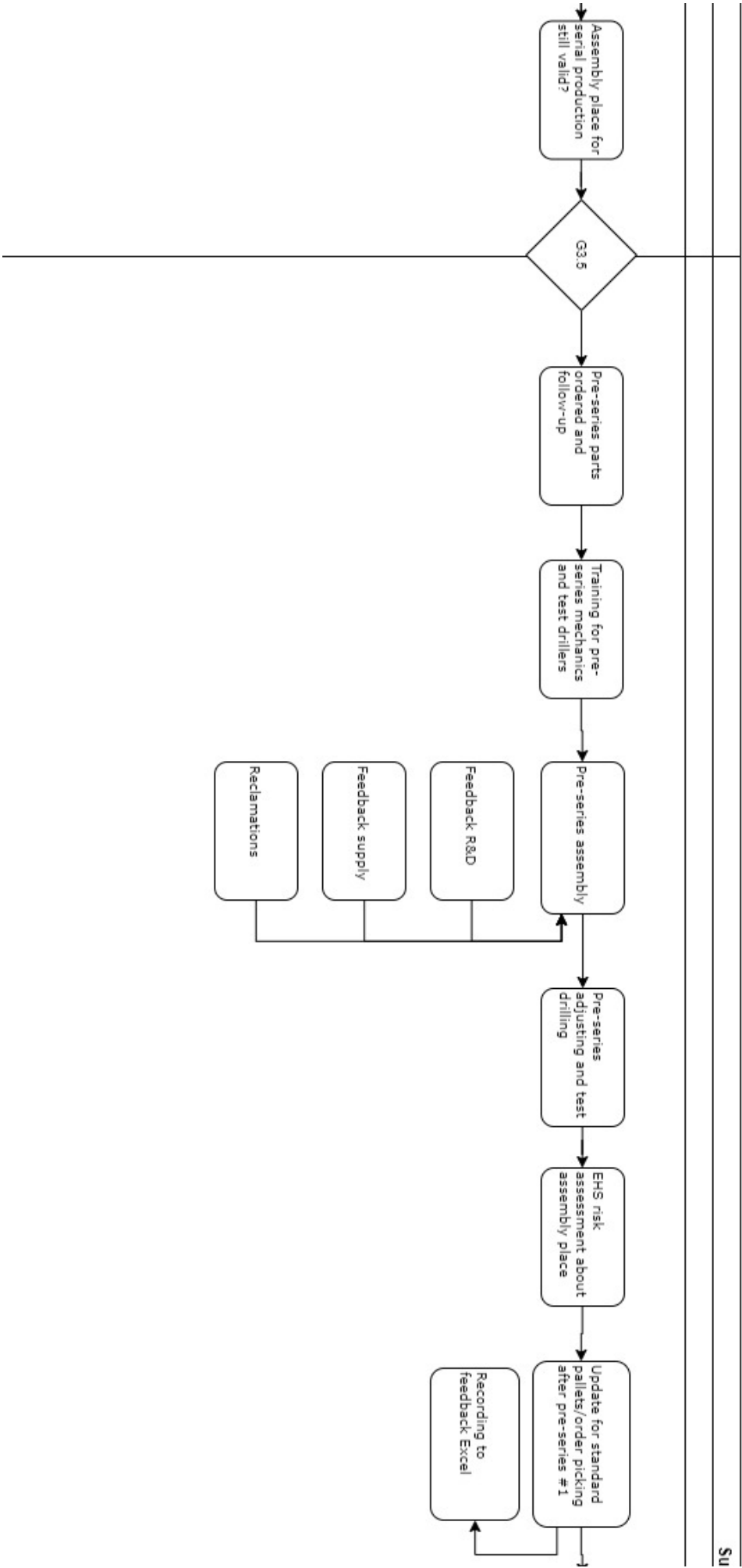




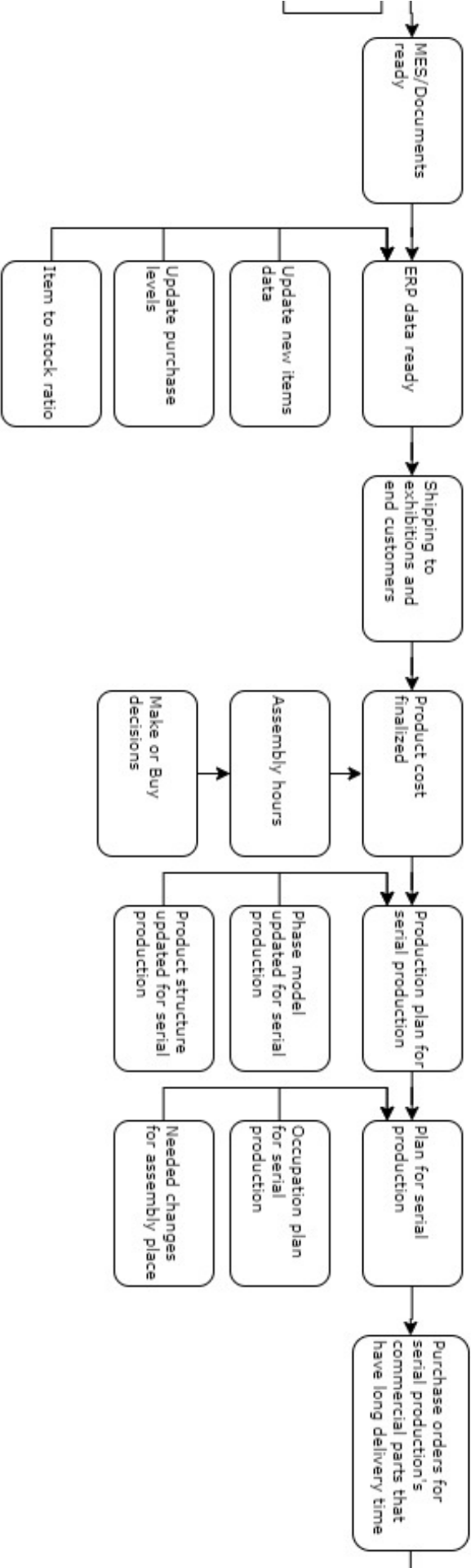


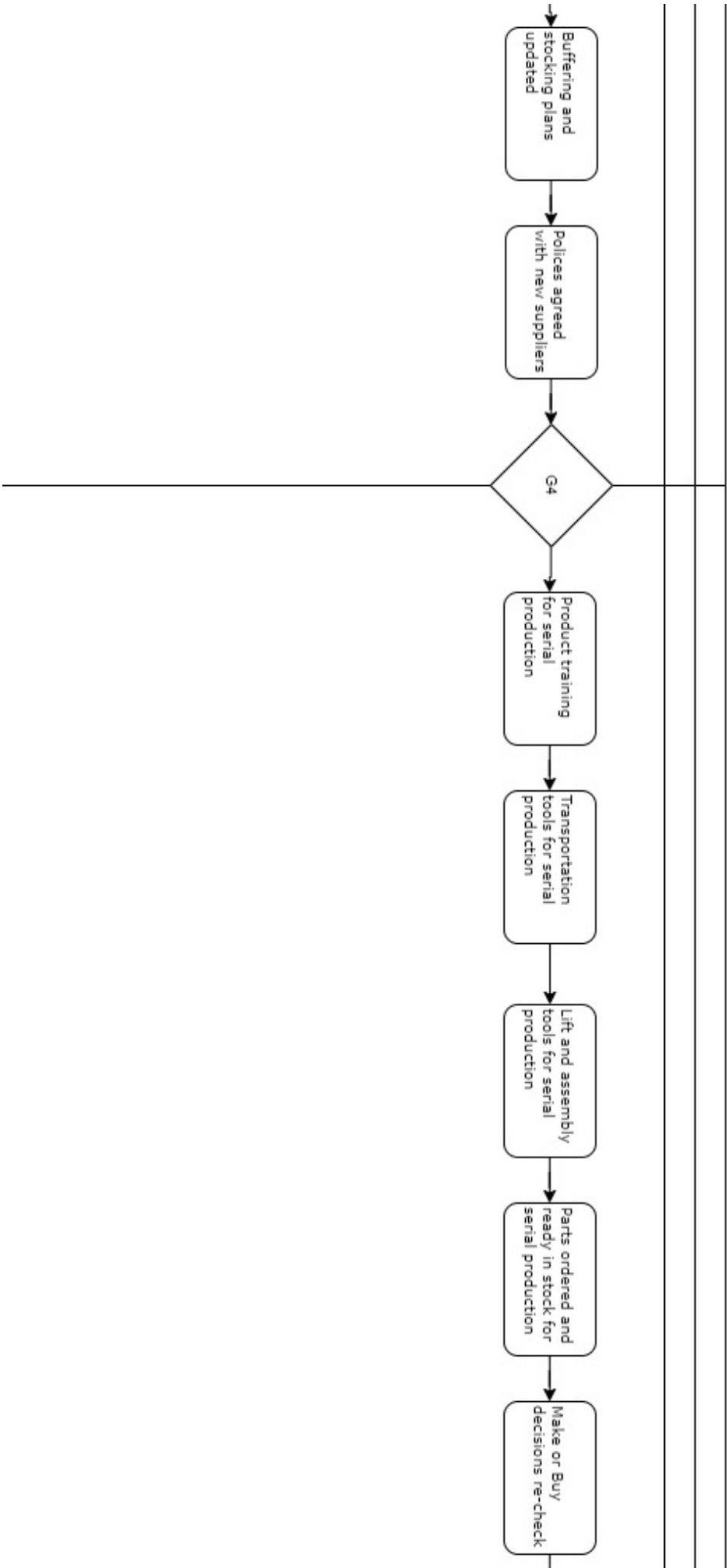




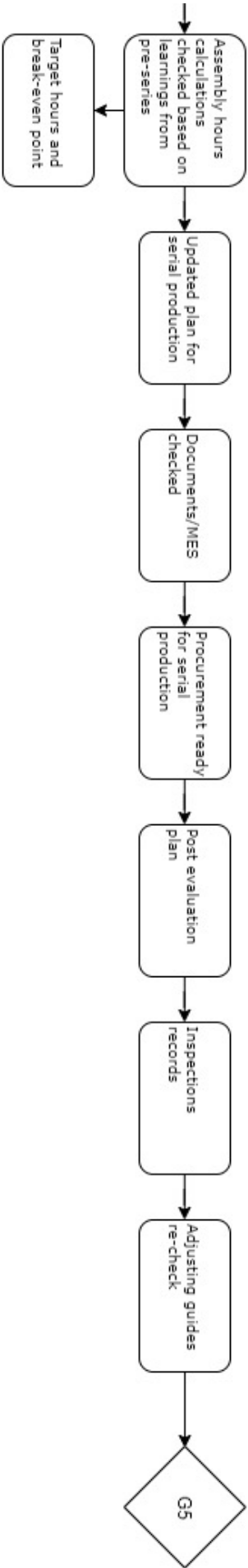


Support the decision about releasing new product for sale

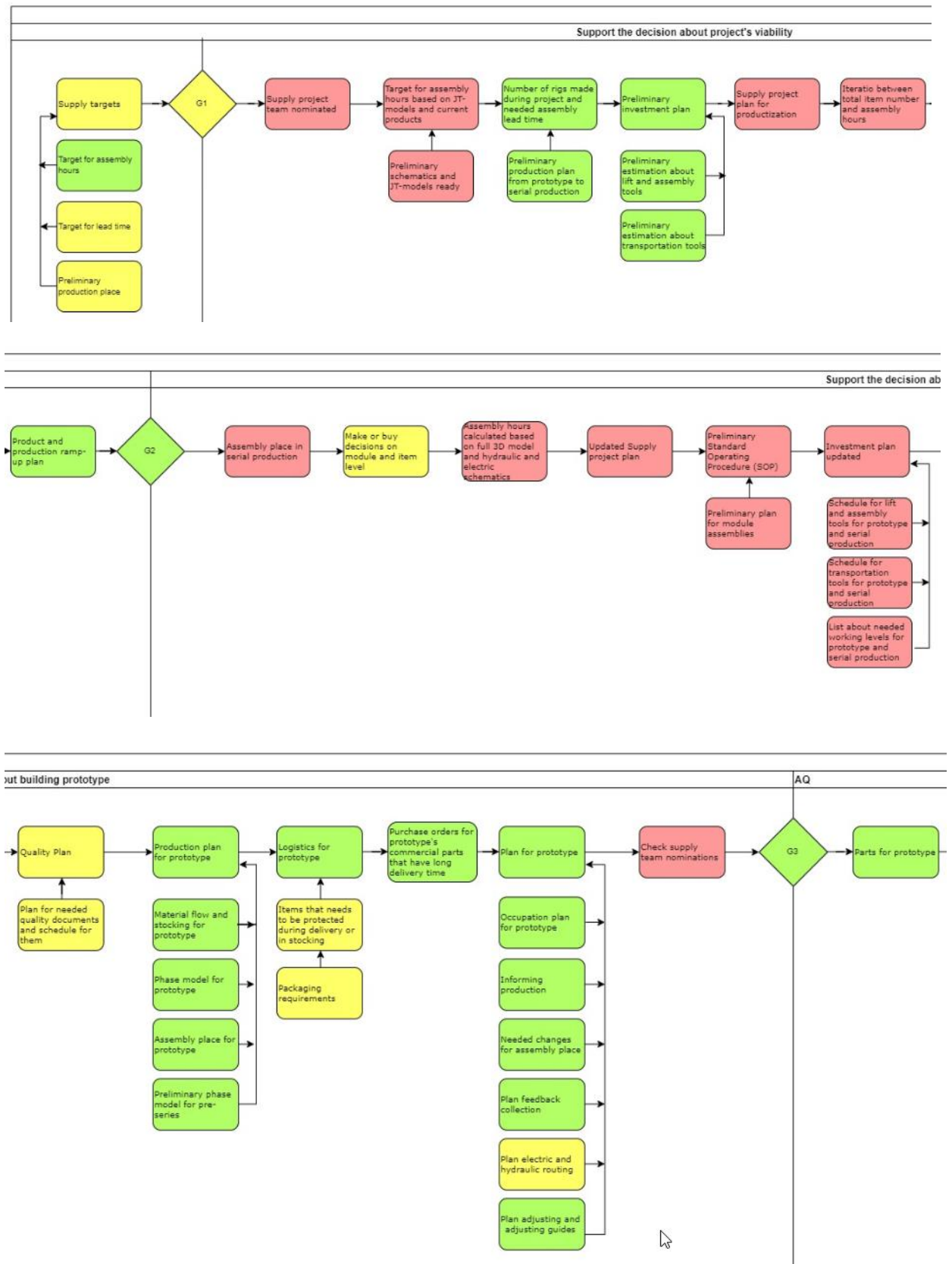


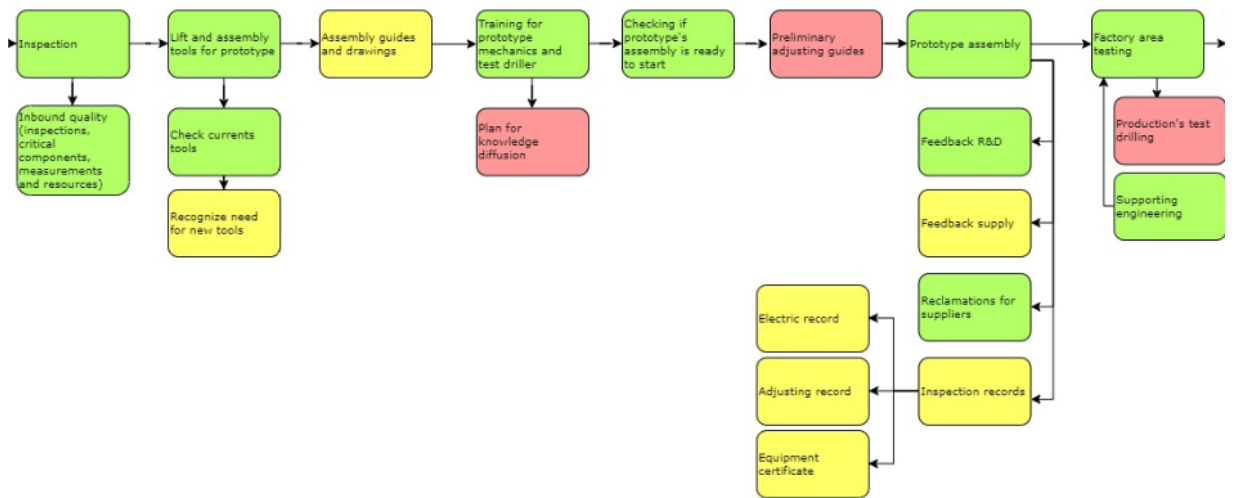


Make sure that everything is ready for serial production

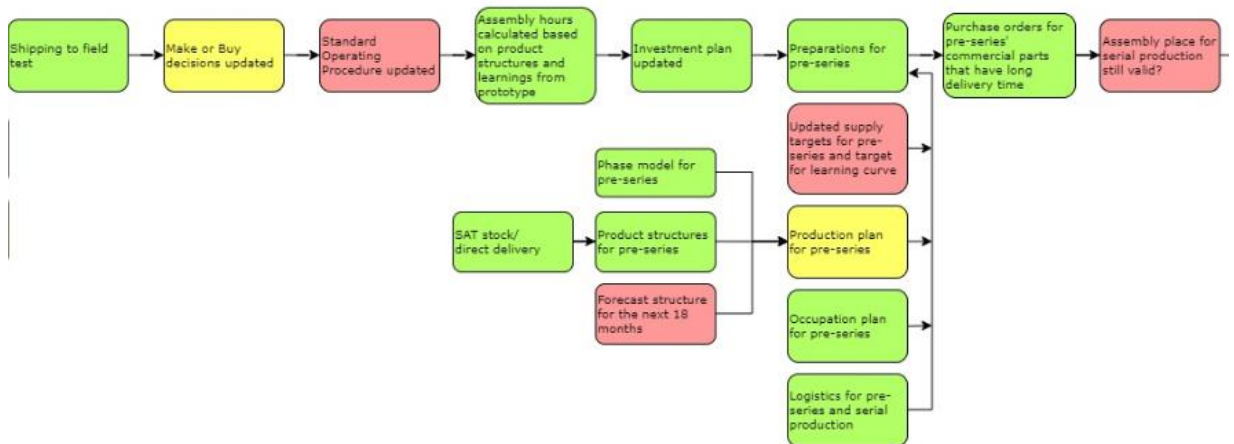


# LIITE C:

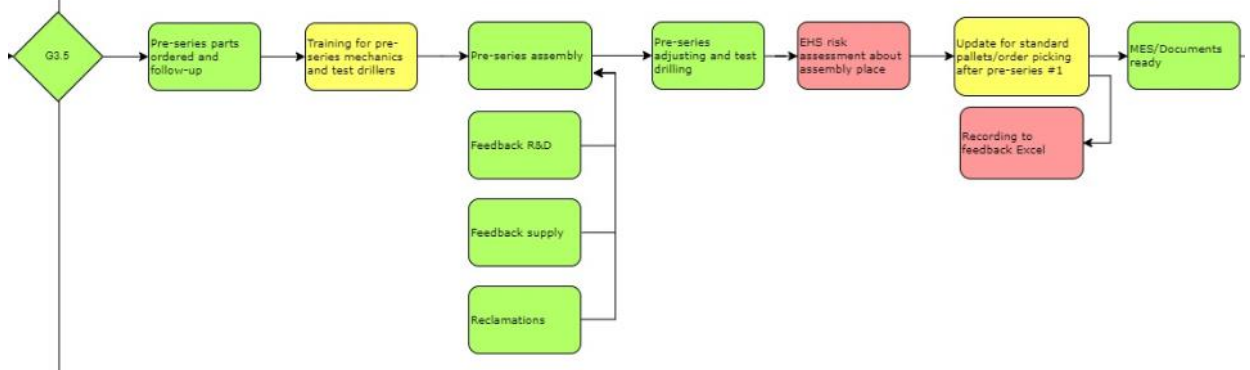




G

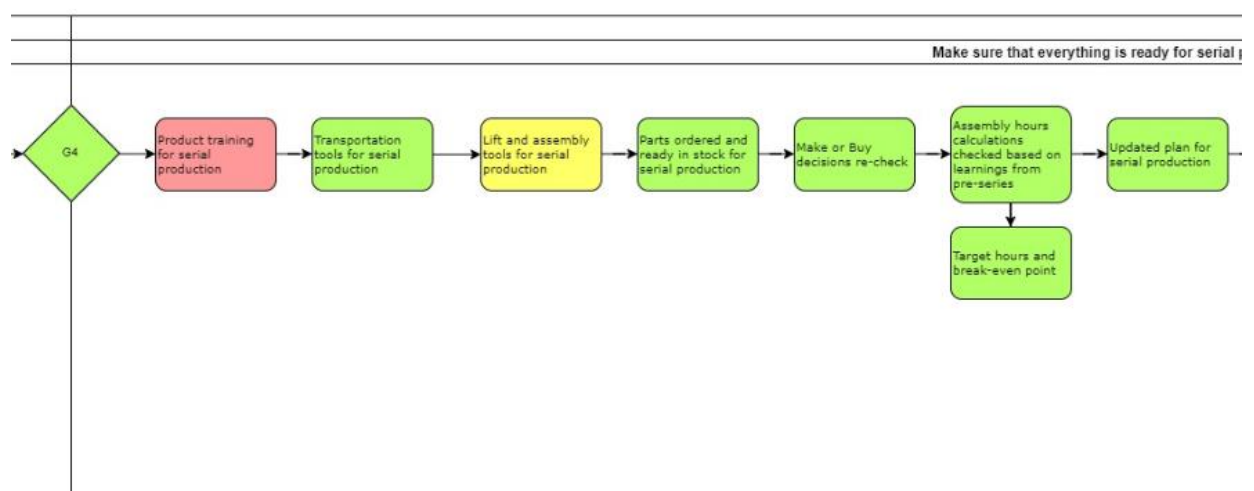
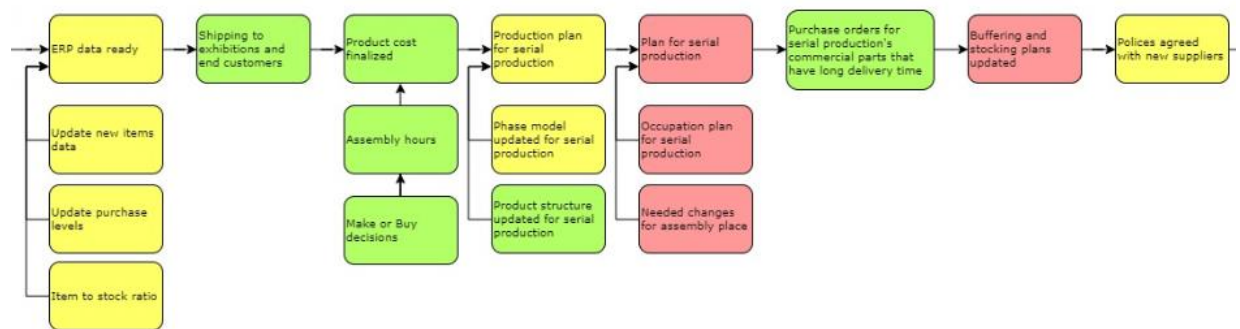


Support the decision z

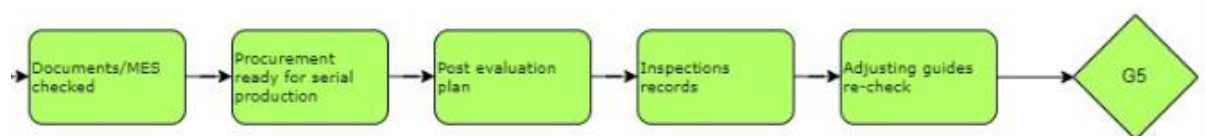




about releasing new product for sale



roduction



## LIITE D:

	In the beginning tasks not made properly because supply project team has not been nominated	Production place not valid	Knowledge diffusion failed	Genuine bidding for modules not made	Lift and assembly tool need recognised after start of serial production
G1	<p>Supply targets</p> <p>Target for lead time</p> <p>Preliminary production place</p>				
G2	<p>Supply project team nominated</p> <p>Target for assembly hours based on JT-models and current products</p> <p>Preliminary schematics and JT-models ready</p> <p>Supply project plan for productization</p> <p>Iteratio between total item number and assembly hours</p>				
G3	<p>Quality Plan</p> <p>Plan for needed quality documents and schedule for them</p> <p>Assembly hours calculated based on full 3D model and hydraulic and electric schematics</p> <p>Updated Supply project plan</p> <p>Preliminary Standard Operating Procedure (SOP)</p> <p>Preliminary plan for module assemblies</p> <p>Check supply team nominations</p>	<p>Items that needs to be protected during delivery or in stocking</p> <p>Packaging requirements</p> <p>Assembly place in serial production</p>		<p>Make or buy decisions on module and item level</p>	<p>Investment plan updated</p> <p>Schedule for lift and assembly tools for prototype and serial production</p> <p>Schedule for transportation tools for prototype and serial production</p> <p>List about needed working levels for prototype and serial production</p>
G3.5	<p>Assembly guides and drawings (after prototype)</p> <p>Feedback supply</p> <p>Inspection records: electric record, adjusting record, equipment certificate</p>	<p>Preliminary adjusting guides</p> <p>Standard Operating Procedure updated</p> <p>Updated supply targets for pre-series and target for learning curve</p>	<p>Production plan for pre-series</p> <p>Forecast structure for the next 18 months</p> <p>Assembly place for serial production still valid?</p>	<p>Plan for knowledge diffusion</p> <p>Production's test drilling</p>	<p>Make or Buy decisions updated</p> <p>Recognize need for new tools</p>
G4	<p>ERP data ready</p> <p>Update new items data</p> <p>Update purchase levels</p> <p>Item to stock ratio</p>	<p>Update for standard pallets/order picking after pre-series #1</p> <p>Production plan for serial production</p> <p>Phase model updated for serial production</p>	<p>EHS risk assessment about assembly place</p> <p>Recording to feedback Excel (standard pallets and order picking after pre-series #1)</p> <p>Plan for serial production</p> <p>Needed changes for assembly place</p> <p>Buffering and stocking plans updated</p>	<p>Training for pre-series mechanics and test drillers</p> <p>Occupation plan for serial production</p>	
G5				<p>Product training for serial productionText</p>	<p>Lift and assembly tools for serial production</p>